



# **Risques de contamination des volailles en élevages familiaux par la chlordécone**

**Stefan Jurjanz (UR AFPA, INRA-Université de Lorraine),**

**Florence Clostre (Cirad, Martinique)**

**Eric Godard (ARS, Martinique)**

**23 février 2017**

# SOMMAIRE

<b>I. CONTEXTE</b>	<b>3</b>
Objectifs et principe de l'étude	
<b>II. MATERIEL ET METHODES</b>	<b>4</b>
1. Stratégie expérimentale	
2. Prélèvements	
3. Dosages	
4. Traitements de données	
<b>III. RESULTATS ET DISCUSSION</b>	<b>11</b>
1. Contamination du sol des sites	11
2. Contamination des tissus animaux	13
2.1. Concentration de la chlordécone dans les tissus animaux	13
2.1.1 Les œufs	
2.1.2. Les cuisses	
2.1.3. Les gras abdominaux	
2.1.4. Les foies	
2.2. Corrélations entre les concentrations dans les tissus	18
3. Analyse des pratiques d'élevage	22
4. Analyses croisées	26
4.1 Effet des facteurs de risque et de la contamination du site du sol sur la contamination des tissus animaux	
4.2. Analyses des cas au sein d'une classe de concentration de la chlordécone dans le tissu considéré	
5. Effet du sexe des animaux sur la contamination des denrées	36
6. Analyse des poules Djem	39
<b>IV. CONCLUSION GENERALE</b>	<b>42</b>
<b>V. PERSPECTIVES</b>	<b>43</b>
<b>VI. REMERCIEMENTS</b>	<b>44</b>
<b>VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>44</b>

## I. Contexte

En Martinique et en Guadeloupe, certains sols sont contaminés par un pesticide organochloré anciennement utilisé dans les bananeraies (Cabidoche et al. 2009, Levillain et al. 2012, Clostre et al. 2013). Les auto-consommateurs de produits cultivés sur terrains contaminés par la chlordécone (CLD) ont été identifiés comme étant une population à risque élevé d'exposition via l'alimentation (Dubuisson et al. 2007). Or cette molécule est connue pour ses effets sur la santé même à dose environnementale (Multigner et al. 2010, Dallaire et al. 2012, Boucher et al. 2013).

Le programme Jafa (jardins familiaux) mené dans le cadre des plans chlordécone (2008-2010 et 2011-2013) en Martinique et en Guadeloupe (Vincent et al. 2011) a relevé la présence d'un certain nombre d'élevages familiaux de volailles élevées en plein air sur des sites contaminés à des concentrations variables de CLD dans le sol. Le suivi par la FREDON d'une expérimentation de désherbage d'un verger par des poules (*Gallus gallus domesticus*) élevées en plein air sur une surface contaminée (1,7 mg CLD/kg de sol sec) a révélé la contamination des œufs (1000 µg/kg) et de la chair (100 µg/kg) de ces animaux. Cependant, le nombre très restreint des prélèvements ne permettait pas d'établir de lien entre la contamination du sol, la conduite d'élevage et la contamination des produits. En revanche, le fort potentiel de contamination des poules par ingestion de terre a été démontré par une expérimentation menée en cage sur des poules pondeuses (Jondreville et al. 2012). De plus, l'ingestion importante de sol et la forte accumulation de CLD par les volailles lors du pâturage ont été confirmées par une étude sur les canards (Clostre et Lesueur-Jannoyer 2011, Jondreville et al. 2014). L'étude se propose donc, au moyen d'un questionnaire d'enquête et de la détermination de la teneur en CLD dans les volailles, d'identifier les principaux facteurs de variation du niveau de concentration en chlordécone dans les produits issus d'élevages familiaux en Martinique et Guadeloupe. Les résultats visent à élaborer, pour les foyers exposés, des recommandations de pratiques d'élevage limitant la contamination des volailles en fonction de la teneur en CLD du sol.

### **Principe de l'étude**

Les élevages familiaux identifiés par le programme Jafa sont dans un premier temps classés en quatre catégories en fonction de la contamination du sol en CLD. Ensuite, un entretien téléphonique doit permettre, après la confirmation de la présence d'un élevage au moment de l'étude, de présélectionner des foyers selon la contamination du sol et les pratiques d'élevage. Finalement, une enquête approfondie dans les foyers présélectionnés relève les pratiques

d'élevages plus précisément afin d'estimer le risque d'exposition des animaux par le calcul d'un score. Ce dernier est ensuite utilisé pour regrouper les élevages en quatre classes d'exposition des animaux.

Dans chacun de ces foyers, des prélèvements de carcasses d'animaux (une poule et une fois sur deux un coq), d'œufs et du sol doivent permettre de valider la pertinence de la relation entre les concentrations de CLD dans les tissus et les classes de risque établies *a posteriori*.

## II. MATERIEL ET METHODES

### 1. Stratégie expérimentale

**Etape 1 :** premièrement, les enquêtes menées dans le cadre des programmes Jafa (enquêtes initiales et démarches de diagnostic volontaire) ont permis d'identifier les foyers disposant d'un élevage familial de poules (*Gallus gallus domesticus*) et d'une analyse du sol de leur jardin créole.

Ces élevages familiaux sont classés en quatre catégories selon la **contamination de leur sol** :

- très faiblement contaminé (< 0,1 mg CLD /kg de sol sec),
- faiblement contaminé (0,1 à 0,5 mg CLD /kg de sol sec),
- moyennement contaminé (0,5 à 1 mg CLD /kg) et
- fortement contaminé (>1 mg CLD /kg).

Ces seuils s'inspirent des recommandations pour la culture de végétaux sur des sols contaminés par la chlordécone (Lesueur-Jannoyer M. et al. 2012).

**Etape 2 :** un entretien téléphonique est réalisé avec les personnes rencontrées lors des enquêtes Jafa ayant mentionné la présence d'un élevage. Cet entretien de 15 à 20 min au téléphone doit caractériser approximativement quelques pratiques d'élevage via un jeu de 8 questions afin de discerner les élevages *a priori* à risque. L'objectif est de réunir 4 élevages candidats pour chaque classe d'exposition et chaque catégorie de contamination de sol.

Les facteurs de risques sont évalués *a priori* selon les scores présentés dans le tableau 1. Par leur addition est obtenu un **index « exposition a priori »** qui s'échelonne de « 0 » (aucune exposition) à « 14 » (risque maximal d'exposition). En cas de réponse NON à la question 2, le score de la question 3 est multiplié par deux ; en cas de réponse NON à la question 3, le score de la question 2 est multiplié par deux.

Tableau 1 : Questions de l'entretien téléphonique pour caractériser approximativement les pratiques d'élevage

**Q1** : Avez-vous des poules et/ou coqs dans votre élevage familial ?

Si oui : combien

Si non : arrêt de l'entretien

Question	Facteur du risque		
	0	1	2

<b>Q2.</b> Les animaux, sont-ils logés dans un bâtiment (ou une cage)?	Oui, sur dalle bétonnée	Oui, revêtement non isolant	Oui, sur sol battu
<b>Q3.</b> Les animaux, ont-ils un accès à un parcours ?	Non, enfermé en permanence	Oui, sur un sol ±couvert par de la végétation	Oui sol nu, pas de couvert végétal
<b>Q4.</b> Quelle est la taille du parcours ?	en liberté sans délimitation	délimité mais spacieux	très petit
<b>Q5.</b> Distribuez-vous une alimentation à vos volailles?	Oui, aliment complet	Oui, graines seulement ou épluchures du jardin	Non, aucune
<b>Q6.</b> Comment distribuez-vous cette alimentation ?	dans une mangeoire	sur une planche ou assimilable	sur le sol
<b>Q7.</b> Comment s'abreuvent les animaux ?	abreuvoir protégé	Cours d'eau	ils se débrouillent eux-mêmes
<b>Q8.</b> Ponte (œufs par semaine/ poule)	quasi quotidien	un jour sur deux	très peu

Un index  $\leq 4$  correspond à des élevages avec des pratiques peu risquées ; un index de 10 et plus correspond à des pratiques à fort risque, le groupe intermédiaire correspondant à 5 à 9 points. Les limites entre ces trois classes peuvent être ajustées en fonction des résultats des entretiens. A partir de ce pré-tri, 4 élevages de chacune des douze modalités (tableau 2) sont choisis. S'il y a un accord de principe du propriétaire pour le prélèvement de carcasse lors de l'abattage des volailles, un rendez-vous est fixé pour une enquête plus approfondie.

Tableau 2 : Evaluation des facteurs de risques

Classes de pratiques d'élevage <i>a priori</i> (nombre de points)	Classe de sol			
	0 à 0,1 mg/kg	0,1 à 0,5 mg/kg	0,5 à 1 mg/kg	> 1 mg/kg
$\leq 4$ (faible risque)	4 élevages	4 élevages	4 élevages	4 élevages
5 à 9	4 élevages	4 élevages	4 élevages	4 élevages
$\geq 10$ (risque élevé)	4 élevages	4 élevages	4 élevages	4 élevages

Les teneurs relevées dans la classe de sol la plus contaminée (>1 mg/kg), n'ont pas dépassé 2,6 mg/kg.

**Étape 3 :** Lors du rendez-vous dans les foyers ciblés, un questionnaire détaillé (annexe 1) est administré afin d'obtenir autant d'informations précises que possible sur la conduite d'élevage et sur l'individu (ou les individus) sélectionné(s) : origine, âge, date de début de ponte ... A cette occasion, le type de volaille est renseigné : volailles d'élevage ou volailles sauvages dites « Djem ». Les données collectées permettent notamment d'effectuer l'évaluation approfondie des risques liés aux pratiques d'élevage à l'aide du tableau 3.

A l'occasion de cette visite dans le foyer, une bague est posée à la patte de l'animal (ou des animaux) sélectionné(s) dans l'attente du prélèvement de la (ou des) carcasse(s) lors de l'abattage des volailles par le particulier. Les individus sélectionnés sont choisis de manière à être aussi représentatifs que possible de l'effectif présent, en particulier pour les poules. De plus, des prises de vue des animaux, abris/bâtiment, parcours (qualité du couvert végétal), lieux de distribution de l'eau et de l'alimentation, etc. sont réalisées.

Pour les eaux de source et de rivière, en raison de l'hétérogénéité des niveaux de contamination sur le territoire enquêté, le score sera déterminé à partir du niveau de pollution moyen de la source ou de la rivière (ou d'une estimation) à partir des données de suivi de l'Agence Régionale de Santé et de l'Observatoire De l'Eau.

Les facteurs de risque sont évalués *a posteriori* selon les pondérations présentées dans le tableau 3. Par leur pondération et addition est obtenu un **index d'« exposition a posteriori»**.

Tableau 3 : Evaluation approfondie *a posteriori* des risques liés aux pratiques d'élevages : score de risque

Modalité	Pondération	Facteur de risque					
		0	1	2	3	4	5
<b>Bâtiment</b>	1	dalle bétonnée		Revêtement assez isolant	Revêtement peu isolant		sol battu
<b>Parcours</b>	1	enfermé en permanence	sol couvert à 100% par de la végétation	détérioration de 25% de la couverture	détérioration de 50% de la couverture	détérioration de 75% de la couverture	Sol nu (détérioration de 100%)
<b>surface sur le parcours (m<sup>2</sup>/poule)</b>	1		en liberté sans délimitation	> 50, mais délimité	<50	<30	<10
<b>Mode de distribution de l'alimentation</b>	1	mangeoire dans le bâtiment et isolement du sol	mangeoire avec risque minime de débordement (dans le bâtiment)	mangeoire sur le parcours sans risque de débordement	mangeoire sur le parcours avec risque de débordement		sur le sol
<b>Distribution de nourriture contaminée</b>	0,5	aliment complet	graines avec complément	graines seulement	épluchure de produits non racinaires du jardin	épluchure des racines du jardin	aucune
<b>Mode de distribution de l'eau</b>	0,5	abreuvoir propre	abreuvoir un peu souillé	abreuvoir contaminé par la terre		dans une mare	aucune
<b>Source d'eau</b>	0,5	eau potable	eau de pluie				eau d'une mare
<b>Ponte (œufs par semaine/ poule)</b>	1	7	5 à 6	4	2 à 3	1	0
<b>Croissance pour les coqs (poids/âge en g/jour)</b>	1	>35	30 à 35	20 à 30	10 à 20	10 à 1	<1

Afin de pondérer le score en cas de question non pertinente (par ex. « surface de parcours » en cas d'absence d'un parcours), la somme brute des scores est divisée par le nombre de questions pertinentes. De ce fait, les scores de risques peuvent s'échelonner théoriquement de « 0 » (aucune exposition) à « 5 » (risque maximal d'exposition) selon les classes de risque :

- risque fort (score >3),
- risque élevé (score entre 2 et 3),
- risque modeste (score entre 1 et 2),
- risque très faible (score <1).

Les scores obtenus avec ce jeu de données s'échelonnent de 0,19 à 3,33. L'effectif réel des élevages par classe de sol et classe de risque est présenté dans le tableau 4.

Tableau 4 : Distribution des élevages en fonction des facteurs de risques *a posteriori*.

Scores de risque des pratiques d'élevage <i>a posteriori</i>	Classe de sol			
	≤ 0,1 mg/kg	0,1 à 0,5 mg/kg	0,5 à 1 mg/kg	> 1 mg/kg
< 1 (risque faible)	1 élevage	-	1 élevage	-
1 à 2 (risque modeste)	3 élevages	2 élevages	4 élevages	-
2 à 3 (risque élevé)	9 élevages	5 élevages	1 élevage	11 élevages
>3 (risque fort)	1 élevage	2 élevages	-	2 élevages

Le recrutement ciblé d'élevages sur les deux îles a permis de compléter l'effectif pour les classes de sol. Les résultats reflètent un recrutement différent des élevages dans les deux îles mais nullement une différence entre les îles. Ainsi, le facteur « île » est un artéfact et ne peut pas être un facteur étudié.

## 2. Prélèvements

Suite au questionnaire approfondi confirmant la situation de risque de l'élevage supposé, une poule et si possible aussi un coq représentatifs de l'effectif sont choisis et pesés. La procédure retenue pour le prélèvement des volailles est la suivante :

Soit le particulier accepte d'abattre les animaux le jour de la visite permettant à l'enquêteur d'emporter les carcasses (déplumées) des poules et des coqs sélectionnés, soit le particulier informe l'enquêteur de la date prévue d'abattage des volailles. Dans les deux cas de figures, les animaux abattus sont livrés le jour même au Laboratoire Départemental d'Analyses de la Martinique (LDA972) ou à un vétérinaire de Guadeloupe. Sont alors prélevés :

- sur la poule, par dissection, les deux cuisses avec la peau, tout le gras abdominal, le foie et un œuf (par ordre de préférence : un œuf entier – jaune, blanc et membranes coquillières - le jaune d'œuf le plus développé de la grappe ovarienne – les jaunes les plus développés dans la grappe ovarienne jusqu'à obtention d'un échantillon de 5 g, quantité minimum pour le dosage). Les cuisses sont désossées. La référence réglementaire porte sur l'analyse d'une cuisse avec la peau.

- sur le coq, par dissection, le foie, le gras abdominal et deux cuisses avec la peau. Les cuisses sont désossées.

Les échantillons prélevés en Guadeloupe sont ensuite expédiés au LDA972 par la DAAF. Il est demandé au LDA972 de conserver une cuisse avec peau pour chaque animal et de les congeler à -18°C, ces échantillons sont ultérieurement conservés au CIRAD.

Ces pièces étant écartées, les prélèvements restants (jaune d'œuf, le foie, une cuisse et du gras abdominal) sont pesés et font l'objet d'un dosage de chlordécone.

Les déchets animaux sont éliminés par le LDA972 et le vétérinaire de Guadeloupe via une filière de collecte appropriée.

Une indemnisation est prévue pour les particuliers à hauteur de 10€/kg de poids vif. A leur demande, il a été envisagé de prévoir 2 modes d'indemnisation : soit en espèces, soit sous forme d'aliment complet pour volailles (sacs de 25 kg).

Dans chacun des élevages où des animaux ont été prélevés, les prélèvements de sol sur le parcours des volailles sont réalisés à la pelle (profondeur 0-5 cm) en différents points et un échantillon composite est constitué. Le protocole d'échantillonnage suivi est adapté de (Clostre et al. 2013). Le sol du bâtiment est également prélevé séparément s'il est de terre, plus ou moins accessible aux animaux.

### **3. Dosages**

Le LDA972 est accrédité pour les analyses de chlordécone par le COFRAC, le Comité français d'accréditation, et travaille selon la norme NF EN ISO/CEI 17025.

La méthode analytique pour les tissus animaux repose sur la POP 09 (méthode pour l'analyse de pesticides) développée par l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail). Après homogénéisation (Ultra Turrax), la chlordécone est extraite de l'échantillon par solvant organique (hexane/acétone, 85:15 v/v). Pour la graisse, cette étape est précédée de deux extractions avec de l'acétonitrile et du dichlorométhane (75:25

v/v). Le chlordécone hydrate est ensuite obtenu par alcalinisation en présence de soude. La phase aqueuse est rincée à l'hexane pour éliminer la matière grasse. Après acidification du chlordécone hydrate en chlordécone avec de l'acide sulfurique, une seconde extraction est menée avec un mélange hexane/acétone (85:15 v/v). L'extrait est ensuite concentré à l'aide d'un évaporateur. La chlordécone est quantifiée par chromatographie liquide (LC-SPE Symbiosis Pico, Spark Holland, équipé d'une colonne ALLTIMA HP C18 HL 5 $\mu$ m - 150 x 2.1 mm) couplée à un spectromètre de masse en tandem (spectromètre de masse triple quadripôle API 4000 équipé d'une source ESI travaillant en mode négatif) par dilution isotopique.

La limite de quantification pour la CLD dans les œufs, la graisse abdominale et les foies est de 5  $\mu$ g/kg de matière fraîche ; la limite de détection est de 2  $\mu$ g/kg de matière fraîche. Une détection inférieure à la limite de quantification est déclarée comme « présence de traces ».

Le dosage de CLD dans le sol est effectué après séchage à température ambiante, broyage manuel, tamisage à 2 mm et broyage mécanique. La méthode interne utilisée par le LDA972 pour les analyses de CLD dans le sol repose sur une extraction dans un mélange de dichlorométhane et d'acétone (50:50 v/v). Les échantillons purifiés sont ensuite analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. La calibration utilise deux standards internes, l'hexabromobenzène et le triphenylphosphate. La méthode d'analyse est décrite plus en détail dans (Woignier et al. 2012). La limite de quantification est de 10  $\mu$ g/kg (sol sec).

#### **4. Traitements des données**

Les données sont analysées dans un premier temps par un relevé de fréquences dans les différentes classes définies préalablement (contamination des sols des sites et celles des tissus animaux). Ensuite, la cohérence des contaminations mesurées est étudiée par l'analyse des corrélations entre les concentrations dans les différents tissus.

La variation rencontrée dans les pratiques d'élevage est renseignée par rapport à leur distribution dans les classes de facteurs de risque.

Des tableaux dynamiques croisés permettent ensuite d'étudier le lien entre les facteurs de risque et la contamination du sol du site sur les tissus animaux avant d'analyser leur interaction au sein d'une classe de concentration du CLD dans le tissu considéré.

Dans un deuxième temps, l'effet du sexe sur la contamination des cuisses et des foies est étudié sur un sous-ensemble de prélèvements où la présence d'une poule et d'un coq sur le même site permette leur comparaison. Finalement, une dernière analyse est menée sur le sous ensemble de volailles de type « Djem » en analysant les contaminations de leurs tissus en fonction de classes de contamination des sols et des facteurs de risque.

### **III. RESULTATS**

#### **1. Contamination du sol des sites**

Le lien entre la concentration du sol du jardin créole mesurée dans le cadre du programme JAJFA et celle relevée lors des enquêtes menées en 2014 montre en général une bonne correspondance des résultats obtenus. En effet, dans 18 sites (sur les 32) les prélèvements de 2014 ont confirmé le classement initial du site, établi en 2010 et dans 8 autres cas, l'analyse du sol révèle une classe de contamination voisine de celle déterminée lors des analyses des jardins en 2010. Dans 10 élevages (concernant 12 volailles), l'absence de parcours rend la comparaison avec les résultats de JAJFA impossible.

Un fort décalage entre les deux séries de prélèvements sur le même site n'a été observé que dans quatre cas. Cela peut s'expliquer par le fait que les prélèvements de sol n'ont pas été effectués au même endroit du terrain pour la contamination du jardin créole et celle du parcours. Ce sont les prélèvements effectués sur les parcours et dans le bâtiment (2014) qui ont été retenus pour le dépouillement des résultats.

Les sols prélevés sur les différents sites présentaient des concentrations de CLD allant jusqu'à 2,57 mg/kg de sol sec. Ces concentrations, exprimées sur la base du poids sec de sol, sont distribuées comme suit :

- 8 sites avec un sol inférieur à la LQ (0,01 mg CLD/kg),
- 3 sites entre 0,01 et 0,1 mg CLD/kg,
- 8 sites entre 0,1 et 0,5 mg CLD/kg,
- 4 sites entre 0,5 et 1 mg CLD/kg et
- 9 sites avec un sol contaminé au-delà de 1 mg CLD/kg

## 2. Contamination des tissus animaux

En l'absence de réglementation spécifique concernant la contamination des denrées d'élevages de particuliers destinées à la consommation au sein du foyer, les références réglementaires concernant les élevages commerciaux seront utilisées dans la suite de l'étude. Celles-ci visent à protéger la santé du consommateur. Cependant, une éventuelle multi-exposition des auto-consommateurs de produits d'un jardin créole pourrait mettre en question leur pertinence.

Le règlement européen concernant la limite maximale de résidus (**LMR**) autorisée pour la chlordécone (839/2008/UE modifiant le règlement 396/2005/UE) stipule pour tous les tissus de volailles une valeur limite de résidus de chlordécone (LMR) de 0,2 mg/kg. Jusqu'à la modification par le règlement 212/2013/UE de l'annexe I du règlement 396/2005/UE fixant les tissus concernés auxquels s'appliquent les LMR ainsi que leur mode d'expression, celles qui concernaient les substances liposolubles telle la chlordécone étaient exprimées dans la matière grasse du tissu considéré. Pour les œufs, la LMR était fixée à 0,02 mg CLD/kg d'œuf après l'enlèvement de la coquille (=œuf écaillé). Or, le règlement 212/2013/UE supprime, selon ses considérants, « à la demande de parties intéressées et d'organismes de contrôle de l'application de la législation et compte tenu de la forme que revêtent les produits sur les marchés », la particularité d'expression dans la graisse des LMR pour les molécules liposolubles, sans affecter les valeurs de LMR qui continuent à s'appliquer pour les produits entiers tels que consommés. Ainsi, l'arrêté français du 30 juin 2008, fondé sur les valeurs précédentes du règlement et de son annexe, stipulant que pour les tissus pauvres en graisses (<10% de lipides dans le produit frais), la teneur était à diviser par 10 pour une expression par kg de produit frais n'est plus conforme au nouveau cadre réglementaire européen. Cette modification de l'annexe I introduite par le règlement 212/2013 ne modifie pas la LMR autorisée pour le gras et les œufs mais conduit *de facto* pour la cuisse avec peau (dont le taux de graisse approche les 10%) et pour les foies (avec un taux de graisses <10%) à augmenter la LMR d'un facteur 10 ! A part que cette rédaction simplifiée de l'expression de la LMR pour les produits commerciaux ne renforce pas la protection des consommateurs, leur application dans le cadre des élevages des particuliers avec un risque de multi-exposition ne semble pas appropriée. Ainsi, les différents tissus analysés dans cette étude sont évalués selon les termes de l'arrêté du 30 juin 2008, c'est-à-dire 0,02 mg/kg de produit frais pour les cuisses, les foies et les œufs écaillés ainsi que 0,2 mg/kg pour le gras abdominal. Afin de bien illustrer ce *distinguo*, les classes de contamination ont été définies de manière uniforme pour tous les tissus :

- Inférieur à la LD (« non détecté »)

- Supérieur à la LD mais inférieur à la LQ (« détecté mais non quantifié »)
- Supérieur à la LQ mais  $\leq 20$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  de produit frais (« conforme »)
- $>20$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  et  $\leq 200$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  de produit frais (conformité dépend du tissu)
- $>200$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  (« non conforme »)

De manière générale, tous les produits issus de sites ayant une concentration en CLD dans le sol  $<LQ$  étaient conformes à la réglementation. Cependant, des traces ont été mesurées dans la moitié des échantillons de foies (5 cas sur 9) et d'œufs (3 cas sur 6) et dans un échantillon (sur 9) de gras abdominal contrairement aux cuisses désossées où aucun échantillon issu des sites non contaminés ( $<LD$ ) n'a présenté de traces de CLD.

## **2.1. Concentration de la chlordécone dans les tissus animaux**

### **2.1.1. Les œufs**

Concernant les œufs, parmi les 27 poules prélevées, seules 18 ont fourni des résultats exploitables soit par prélèvement d'un œuf ( $n=4$ ) et l'analyse de son jaune, soit par l'analyse du jaune le plus développé de la grappe ovarienne ( $n=14$ ). En effet, un certain nombre de poules avaient une productivité faible voire très faible, d'autant plus que les derniers prélèvements ont été réalisés en août où la productivité naturelle des volailles diminue. Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus sur les différents types de prélèvements avec la valeur réglementaire qui concerne l'œuf écaillé, les concentrations de CLD mesurées dans le jaune d'œuf ou la grappe ovarienne ont été multipliées par 0,33 car le jaune d'œuf ne représente qu'un tiers de la masse d'un œuf écaillé (Nys et al. 2011). Exceptés deux échantillons très extrêmes ( $>3500$   $\mu\text{g}$  CLD/kg d'œuf écaillé sur des sites à plus d'1 mg CLD/kg de sol), le lien entre la concentration du CLD dans le sol et celle dans les jaunes d'œufs est présenté dans la figure 1.

D'après ces résultats rapportés à l'œuf entier écaillé, tous les œufs produits sur un site dont la concentration ne dépasse pas 0,03 mg de CLD/kg de sol (et quasiment toujours en dessous de la LQ de 0,01 mg de CLD/kg) restent contaminés en deçà de 20  $\mu\text{g}$  CLD/kg d'œuf écaillé. Cela concerne 8 des 18 échantillons. Trois autres échantillons proviennent de sites contaminés entre 0,1 et 0,3 mg CLD/kg de sol et deux des trois œufs ne dépassent que légèrement le seuil de conformité avec 26 et 30  $\mu\text{g}$  CLD/kg). Cependant, le troisième échantillon dépasse de plus de 10 fois la LMR avec 266  $\mu\text{g}$  CLD/kg d'œuf écaillé. La contamination des œufs en provenance de sites au-delà de 0,5 mais inférieurs à 1 mg CLD/kg de sol est largement au-dessus du seuil réglementaire avec des concentrations entre 100 et 500  $\mu\text{g}$  CLD/kg d'œuf écaillé. Finalement,

les deux œufs prélevés sur un site >1 mg CLD/kg de sol (et exclus de la représentation en figure 1) présentent des concentrations extrêmement élevées en CLD, au-delà de 3500 µg CLD/kg d'œuf écaillé.

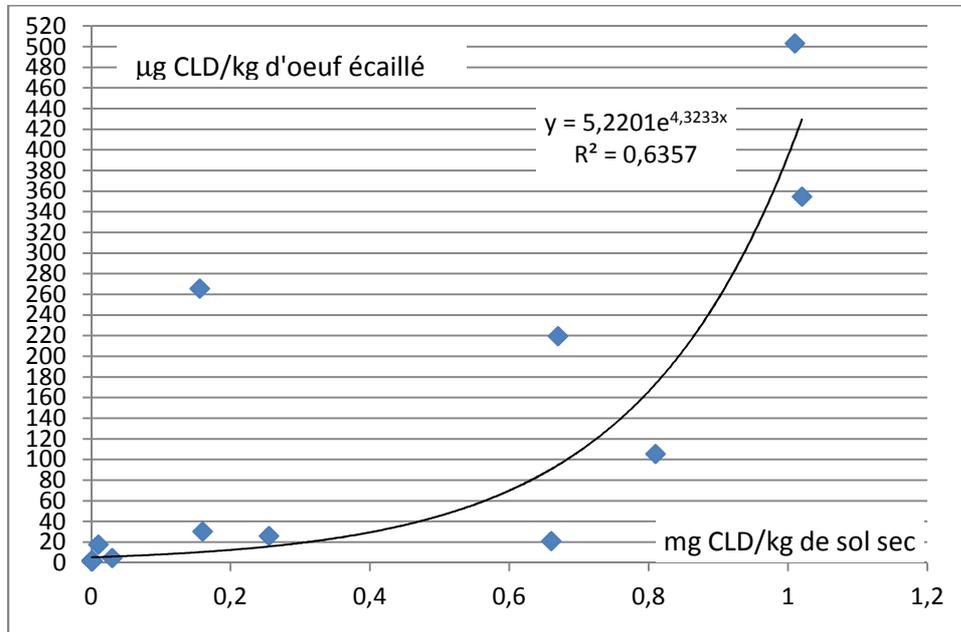


Figure 1 : effet de la teneur en CLD du sol sur celle du CLD dans l'œuf écaillé après exclusion de deux valeurs extrêmes.

Il apparaît ainsi que dès qu'il y a détection du CLD dans le sol, la concentration dans les œufs augmente très rapidement et de manière exponentielle avec celle dans le sol. Le seuil de conformité est rapidement dépassé, parfois de beaucoup, pour dépasser en deux cas les 10 000 µg CLD/kg de jaune d'œuf correspondant à plus de 3500 µg CLD/kg d'œuf écaillé. Ces résultats confirment les observations de Jondreville et al. (2014) en conditions contrôlées : la CLD s'accumule très rapidement dans le jaune d'œuf, ce qui en fait un tissu particulièrement exposé à ce contaminant.

Cependant, le faible nombre d'individus exploitables (n=14, r<sup>2</sup>=0,64) fragilise le calcul de la corrélation entre la contamination du sol et celle des œufs. Ainsi, la généralisation de cette régression doit être manipulée avec une grande prudence car elle nécessiterait une confirmation sur un échantillon plus conséquent ciblant les concentrations modérées de CLD dans le sol (<0,5 mg/kg) où l'obtention d'œufs conformes à la LMR semble encore possible.

### 2.1.2. Les cuisses

Tous les 42 échantillons des cuisses avec peau (27 poules et 15 coqs) ont pu être exploités. Parmi eux, 18 échantillons ont dépassé le seuil de 20 µg/kg de poids brut et 6 autres ont présenté un résultat quantifiable. Le tableau 5 présente le nombre de prélèvements par classe de contamination en fonction de la teneur en CLD du sol du site d'élevage.

Tableau 5 : effet de la contamination du sol du site sur la contamination des cuisses (en nombre d'échantillons par classe), en fonction de la limite de détection (LD) et à la limite de quantification (LQ) (nombre de poules par classe en rouge et coqs en bleu).

mg CLD/kg SOL CUISSSE	<LQ (0,01)	0,01 à 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à < 1	> 1
≤LD (2 µg CLD/kg brut)	7 3	0	0 1	0	0
>LD et ≤LQ (5 µg CLD/kg brut)	0	1 1	1 1	2 1	0
>5 et ≤20 µg CLD/kg brut	0	1 0	2 1	1 1	0
>20 et ≤200 µg CLD/kg brut	0	1 0	2 1	1 0	5 3
>200 µg CLD/kg de brut	0	0	0	0	3 2

Comme observé précédemment pour les œufs, la CLD n'est pas détectée dans les cuisses si la contamination du sol ne dépasse pas 0,01 mg CLD/kg de sol sec. Le nombre de prélèvements contenant des concentrations élevées de CLD augmente avec la concentration dans le sol du site. Pour la classe >1 mg CLD/kg de sol sec, plus aucune cuisse n'est conforme à la LMR du règlement 396/2005.

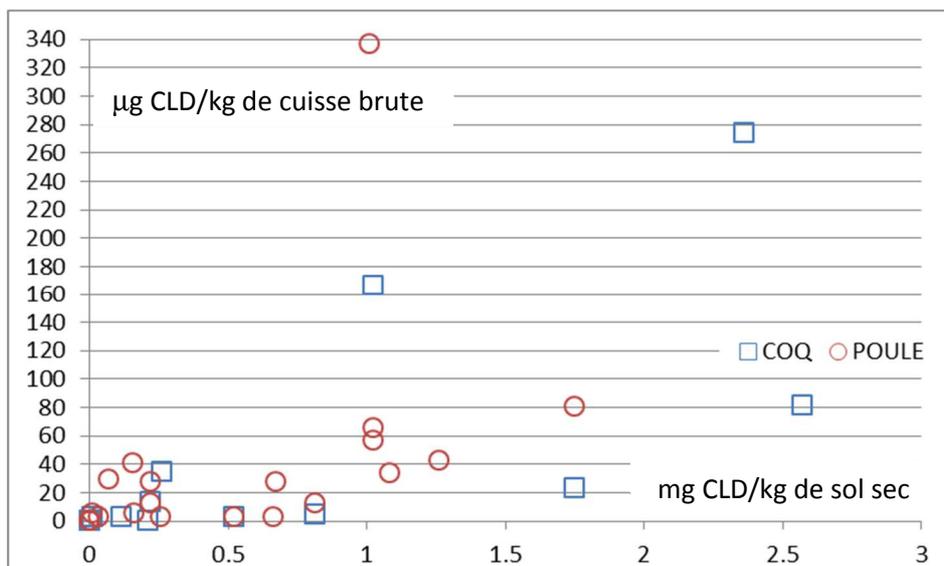


Figure 2 : effet de la contamination du sol du site sur celle de la cuisse des poules et des coqs.

Cependant, les dépassements de la LMR de 20 µg/kg de poids brut restent modestes ( $\leq 35$  µg/kg donc moins de deux fois le seuil) si la contamination du sol reste  $< 1$  mg CLD/kg de sol.

Le sexe des oiseaux ne fait pas varier l'effet de la concentration du CLD du sol sur celle des cuisses (figure 2) dans ce jeu de données.

### 2.1.3. Le gras abdominal

Parmi les 42 animaux prélevés, le gras abdominal n'était pas en quantité suffisante pour être analysé pour 3 poules et 1 coq, dont 2 animaux Djem. Parmi les 38 échantillons exploités, seuls 8 dépassent la LMR et 20 autres prélèvements montrent des concentrations quantifiables en CLD. Le tableau 6 présente le nombre de prélèvements par catégorie de contamination en fonction de la teneur en CLD du sol du site d'élevage.

La proportion plus faible de prélèvements de gras non conformes (7 sur 38) par rapport aux autres matrices est sans doute en lien avec une LMR dix fois plus élevée que celle des œufs (10 dépassements sur 18 mesures) ou des cuisses (18 dépassements sur 42 mesures). Cependant, la moitié des échantillons dépasse la concentration de 20 µg/kg (19 échantillons de gras sur 38 mesures), ce qui est très semblable à la proportion observée dans les œufs et les cuisses. Par ailleurs, le nombre d'échantillons ne présentant pas de CLD ( $< LD$ ) dans le gras abdominal (9) est proche de celui obtenu pour les cuisses (11 sur 42) mais plus élevé que celui des œufs (2 sur 18), ce qui souligne l'exposition particulière des œufs à la contamination par la chlordécone.

Tableau 6 : effet de la contamination du sol du site sur la contamination du gras abdominal (nombre de poules par classe en rouge et coqs en bleu).

mg CLD/kg SOL GRAS ABDOMINAL	< LQ (0,01)	0,01 à 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à < 1	> 1
< LD (2 µg CLD/kg de gras)	7 2	0	0	0	0
>LD et ≤LQ (5 µg CLD/kg de gras)	0 1	0	0	0	0
>LQ et ≤ 20 µg CLD/kg de gras	0	1 1	1 2	2 2	0
>20 et ≤200 µg CLD/kg de gras	0	2 0	3 2	2 0	2 1
>LMR (200 µg CLD/kg de gras)	0	0	0	0	4 3

#### 2.1.4. Les foies

Les analyses des 42 foies prélevés (27 poules et 15 coqs) montrent (tableau 7) une absence de détection pour 5 oiseaux (4 poules et 1 coq) et une présence de traces de CLD pour 4 animaux (3 poules et 1 coq).

Tableau 7 : effet de la contamination du sol du site sur la contamination des foies (nombre de poules par classe en rouge et coqs en bleu).

mg CLD /kg SOL FOIES	<LQ (0,01)	0,01 à 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à < 1	> 1
< LD (2 µg CLD/kg de poids frais)	4 1	0	0	0	0
>LD et < LQ (5 µg CLD/kg de poids frais)	3 1	0	0	0	0
>LQ et ≤ 20 µg CLD/kg de poids frais	0 1	0	0 1	0	0 1
>20 et ≤ 200 µg CLD/kg de poids frais	0	2 1	4 4	3 1	0
>200 µg CLD/kg de poids frais	0	1 0	1 0	1 0	8 4

Quant aux résultats quantifiés, seulement cinq coqs et sept poules restent en dessous du seuil de 20 µg/kg de poids frais et 33 volailles ont un résultat quantifié. Ainsi 30 des 42 foies dépassent la LMR fixée dans l'arrêté français. Parmi ces trente animaux, la moitié des foies se situe dans la plage 20 à 200 µg/kg et l'autre moitié au-delà de 200 µg/kg. Tous les animaux dont la concentration de CLD dans le foie dépasse 20 µg/kg sont élevés sur des sites ayant une teneur en chlordécone supérieure à 0,01 mg /kg de sol sec et la contamination des foies augmente avec celle du sol du site (figure 3). Le centre d'inertie de ces deux sous-ensembles (c'est-à-dire la médiane des échantillons considérés) se décale des sites moyennement contaminés (0,1 à 0,5 mg/kg de sol) pour les foies contaminés à <200 µg/kg vers les sites très fortement contaminés (>1 mg/kg de sol sec) pour les foies très fortement contaminés (>200 µg/kg). Ainsi se confirme que le foie est un tissu très sensible par rapport à l'exposition des animaux.

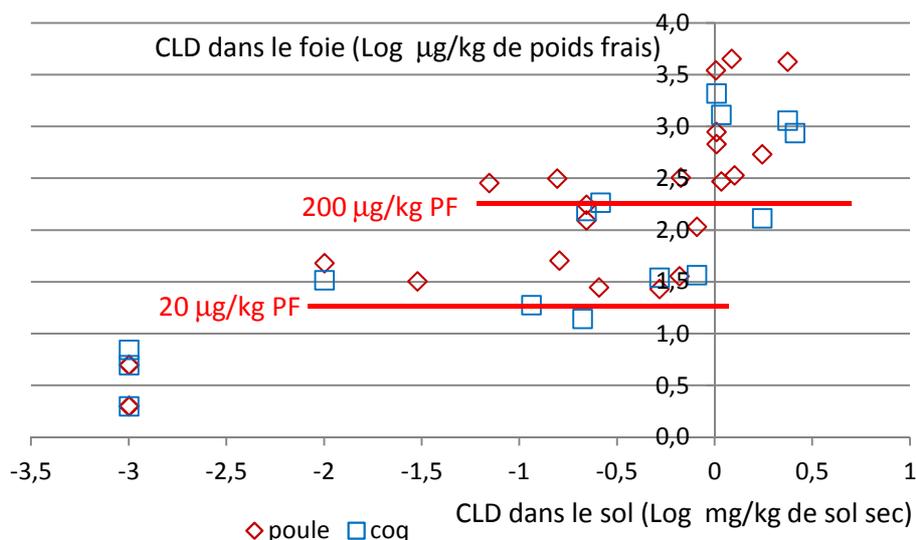


Figure 3 : concentration de la CLD dans le foie en fonction de celle dans le sol du site (échelle logarithmique pour les deux concentrations).

## 2.2. Corrélations entre les concentrations dans les tissus

L'analyse des corrélations des concentrations du CLD entre les tissus vise à valider une certaine cohérence des résultats en utilisant le premier organe exposé, le foie, comme référence mais teste également la capacité prédictive de la contamination d'un tissu à l'aide d'un autre.

### 2.2.1. Le cas des œufs

La distribution des concentrations du CLD dans les 18 œufs écaillés ne semble pas solidement corrélée à celle dans les autres tissus analysés, ce qui est montré avec l'exemple des foies dans les figures 4a et 4b.

Les trois valeurs extrêmes rendent une corrélation très aléatoire. Un de ces trois prélèvements se base sur un œuf pondu collecté dans l'élevage, ce qui entraîne un risque de déconnexion entre l'analyse du jaune et de la poule prélevée pour l'analyse du foie (et les autres tissus). Un deuxième échantillon est issu d'une poule avec une grappe ovarienne atrophiée, ce qui laisse supposer un phénomène pathologique modifiant le métabolisme de cet animal. Le troisième point extrême présentant une concentration très élevée tant dans le foie que dans le jaune de la grappe ovarienne a été également écarté afin d'éviter un biais dans la régression par ce seul point très éloigné.

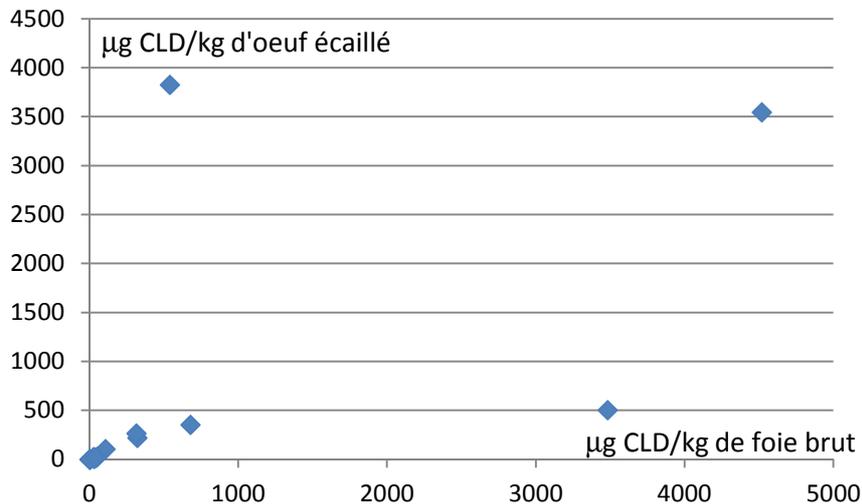


Figure 4a : corrélation entre les concentrations du CLD dans les foies et dans les œufs écaillés (tous les 18 prélèvements).

En écartant ces trois points extrêmes, le nombre de points désormais assez réduits (n=15) doit inciter à une certaine prudence dans l'interprétation. La corrélation entre les concentrations dans ces deux tissus s'améliore notablement: avec  $CLD_{\text{œuf}} = 6,51 + 0,58 \times CLD_{\text{foie}}$  ( $r^2=0,94$ ,  $n=15$  ; figure 3b).

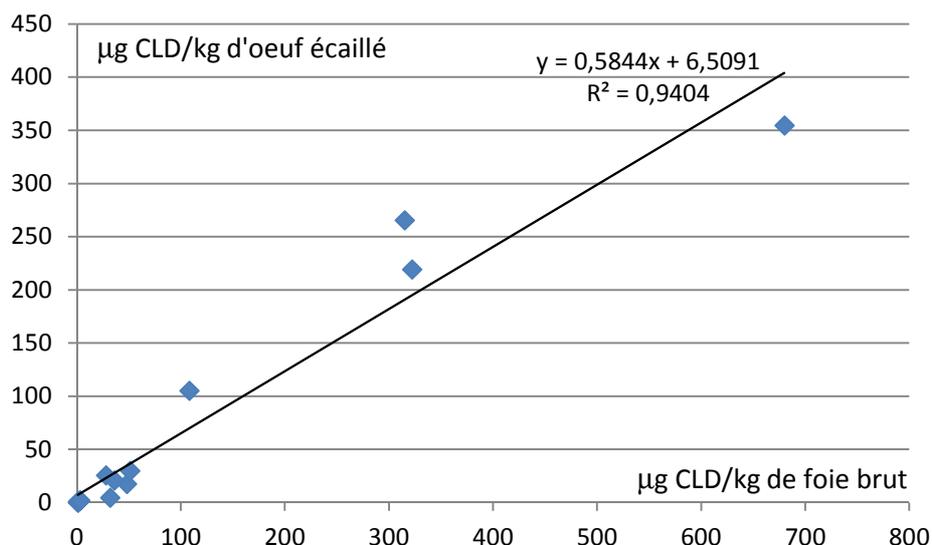


Figure 4b : corrélation entre les concentrations du CLD dans les foies et dans les oeufs écaillés (n=15 après l'exclusion de 3 points extrêmes).

### 2.2.2. Le cas des autres tissus

La concentration hépatique prédit bien celle du CLD dans la cuisse désossée ( $CLD_{\text{cuisse}} = 0,15 \times CLD_{\text{foie}} - 3,09$  ;  $r^2=0,90$ , n=42, figure 5) et celle dans le gras abdominal ( $CLD_{\text{gras abdominal}} = 3,9 + 0,38 \times CLD_{\text{foie}}$  ;  $r^2=0,87$ , n=38 figure 6).

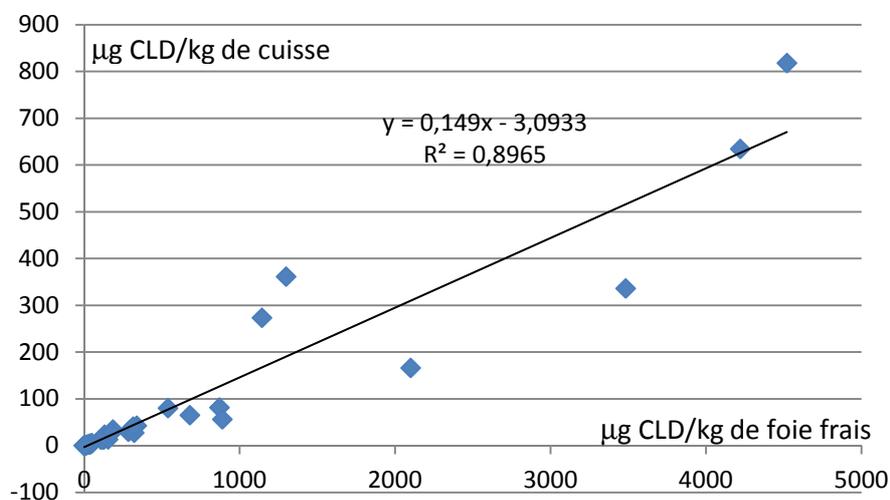


Figure 5 : corrélation entre les concentrations du CLD dans les foies et dans les cuisses désossées (n=42).

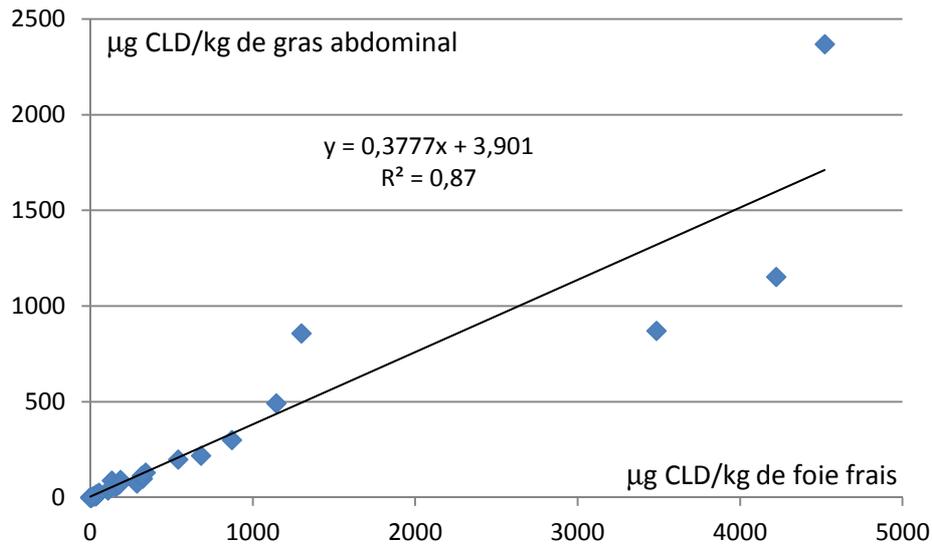


Figure 6 : corrélation entre les concentrations du CLD dans les foies et dans les gras abdominaux (n=38 après l'exclusion de 4 points manquants).

Ainsi la hiérarchie de contamination des tissus dans cet essai est, avec une réserve sur les données « œufs » :

$$\text{CLD foie} > \text{CLD œuf} > \text{CLD gras abdominal} > \text{CLD cuisse}$$

ce qui confirme la hiérarchie établie chez la poule pondeuse en élevage intensif par Jondreville et al. (2014) et cela malgré le fait que ces auteurs analysent le CLD dans le muscle et non dans la cuisse désossée avec peau. Si la hiérarchie entre les concentrations dans les tissus correspond, les ratios entre les tissus diffèrent plus ou moins fortement, ce qui doit être attribué en grande partie à des conditions d'élevage et de performances assez différentes.

Pour finir, la corrélation entre les concentrations des cuisses et des gras abdominaux est également d'une très bonne qualité :  $\text{CLD}_{\text{gras}} = 3,1 + 2,45 \times \text{CLD}_{\text{cuisse}}$  ( $r^2=0,95$ , n=38, figure 7).

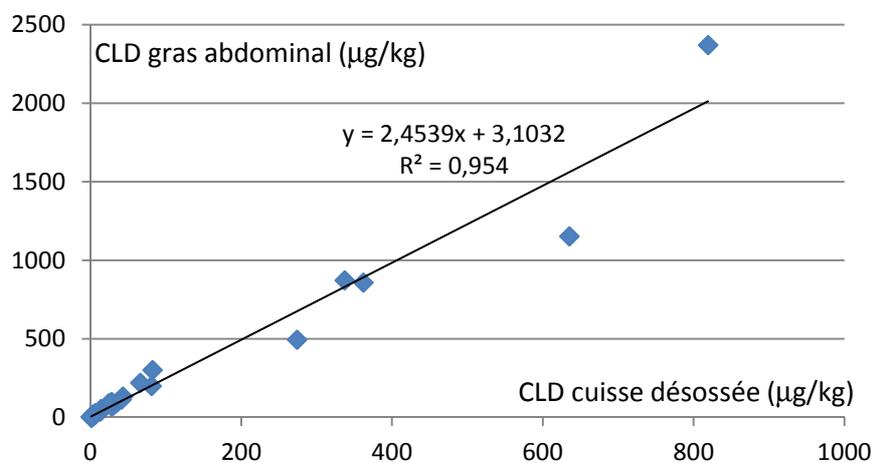


Figure 7 : corrélation entre les concentrations du CLD dans les cuisses et les gras abdominaux (n=38 après l'exclusion de 4 points manquants).

**En conclusion, la concentration d'un tissu permet de prédire la contamination des autres avec une réserve sur les œufs due à une faible puissance statistique. Les foies sont en général les plus contaminés suivis par les œufs, le gras abdominal et finalement les cuisses avec peau en accord avec les données de la littérature.**

### 3. Analyse des pratiques d'élevage

#### Q1. Bâtiment d'élevage

absence	présence					
	Dalle bétonnée		Revêtement du sol bien isolant	Revêtement du sol peu isolant	... très peu isolant	terre battue
8	6		0	4	1	23

Un cinquième (19%) des 42 élevages visités ne disposait pas de bâtiment et les volailles vivaient en permanence sur le parcours. Parmi les 34 élevages avec bâtiment, 6 disposaient d'une dalle bétonnée, 5 d'un revêtement (très) peu isolant du sol et dans plus de la moitié des cas (23 fois) le sol du bâtiment était en terre battue. Ainsi dans seulement 6 cas, les volailles étaient isolées du sol, pouvant ainsi éventuellement contenir l'exposition des animaux au CLD. Par ailleurs, il a été constaté que les dalles bétonnées pouvaient être rapidement souillées par le sol que les volailles ramènent du parcours. Il faut donc constater que l'isolement des volailles du sol via le bâtiment n'est que rarement atteint dans les conditions d'élevage rencontrées.

#### Q2 & Q3 Existence d'un parcours et couverture du sol

Absence de parcours	Couverture du sol du parcours				
	100% par la végétation	75%	50%	25%	Sol nu
12	7	5	4	2	12

Dans les élevages avec parcours, la qualité de la couverture du sol variait d'un sol complètement couvert par une végétation dense jusqu'au cas du sol nu sans aucune végétation. Cependant, compte tenu de la grande variabilité rencontrée en termes de contamination du sol, il est difficile d'établir un lien simple entre la qualité de la couverture du sol et la contamination des produits.

#### Q4. Taille du parcours

Absence de parcours	Surface disponible (m <sup>2</sup> /oiseau)				
	Sans délimitation	> 50 mais délimité	< 50	< 30	< 10
12	8	9	0	6	7

Les 30 élevages disposant d'un parcours étaient distribués de manière équilibrée dans les classes de surface moyenne disponible par oiseau. Les observations en conditions métropolitaines (Germain et al, 2013) ont montré que les poules explorent en général le parcours proche du bâtiment et de moins en moins en s'en éloignant. Ces données seraient à confirmer pour les poules de type « Djem ».

#### Q5. Mode de distribution de l'alimentation

Mangeoire dans le bâtiment		Mangeoire sur parcours			Distribution sur le sol
	Avec risque minime de contamination du sol	Sans risque de débordement	Avec risque de débordement	Avec fort risque...	
6	3	0	3	0	30

Dans trois quarts des cas, la nourriture des volailles était disposée sur le sol. Dans les 12 cas où il y avait une mangeoire limitant plus ou moins le contact avec le sol, la mangeoire était le plus souvent disposée dans le bâtiment et exceptionnellement sur le parcours. Par ailleurs, le mode de distribution varie souvent en fonction du type d'aliments : les aliments du commerce étaient disposés dans une mangeoire, mais les aliments issus du jardin étaient disposés sur le sol. Dans le cas d'une distribution mixte, la pratique engendrant la plus grande ingestion de sol a été retenue pour la détermination du score de risque.

#### Q6. Type d'alimentation

Aliment du commerce	Graines avec compléments	Fruits et Reste de cuisine exclusivement	épluchures de produits non racinaires du jardin	Produits racinaires du jardin	Aucune distribution d'aliments
2	19	0	17	0	4

Il y a deux systèmes d'alimentation dominants : l'alimentation se base soit sur des produits du commerce (aliments complets, graines avec ou sans complément) soit sur les végétaux du jardin (sauf parties souterraines comme les légumes racines). Dans seulement 4 élevages aucun aliment n'était distribué ce qui conduisait les oiseaux à explorer le parcours pour se nourrir. Il est certain que ces conditions favorisent l'ingestion de sol, ce qui est à éviter dans le contexte d'une contamination éventuelle par la

chlordécone. *A contrario*, la distribution d'un aliment complet et équilibré du commerce, qui est le meilleur moyen de ne pas inciter les animaux à explorer le sol, n'est qu'exceptionnelle et ne semble pas correspondre aux méthodes d'élevage par des particuliers. Aucune distribution de légumes racines (et autres parties souterraines) du jardin n'a été relevée lors de cette enquête. Ainsi la consigne de proscrire ce type d'alimentation, notamment sur des sites contaminés, semble déjà être intégrée par les éleveurs particuliers.

#### Q7. Mode de distribution de l'eau d'abreuvement

abreuvoir				Aucune distribution
Propre	Un peu souillé par la terre	Contaminé par la terre	Très...	
4	26	7	0	5

Dans la majorité des cas, la distribution de l'eau était réalisée dans un abreuvoir parfois plus ou moins souillé par la terre. Cette contamination a été évaluée en général comme « faible » (politesse en présence de l'enquêté ?). Cependant, dans 5 élevages, aucune distribution d'eau n'a été constatée, ce qui pousse les oiseaux à rechercher de l'eau dans les flaques ou mares qui sont forcément impactées par la contamination de la terre du site. Il est conseillé de recommander aux éleveurs d'éviter cette pratique, ce qui est en général très facile à faire.

#### Q7 bis. Type d'eau utilisée pour l'abreuvement

Eau potable	Eau de pluie	...	Eau de source	Eau de rivière	Eau d'une mare
16	21	0	1	1	3

L'eau utilisée est en très grande majorité soit l'eau potable soit l'eau de pluie récupérée, ce qui convient à condition de la disposer dans un récipient propre (cf. question précédente). L'utilisation de l'eau de source ne pose un problème que si cette source est contaminée en chlordécone. L'abreuvement des animaux avec l'eau de rivière (n=1) peut être source d'exposition en fonction de la contamination du site et l'importance des sédiments au lieu d'abreuvement. Un abreuvement avec l'eau d'une mare (3 cas) n'est pas recommandé, notamment sur un terrain contaminé.

#### Q8a. Performance de ponte

Coqs	Poules					
	Sans ponte	Arrêt récent de la ponte ou 1 œuf par semaine	2 à 3 œufs par semaine	4 œufs par semaine	5 à 6 œufs par semaine	1 œuf par jour
15	10	1	3	3	2	8

Parmi les 27 poules, plus d'un tiers (11 cas) ne pondaient plus, ce qui est un pourcentage élevé. La proportion de poules « Djem » dans le dispositif (8 dont une seule en ponte) ne l'explique que partiellement. *A contrario*, un tiers des poules (8 cas sur 27) présentaient une ponte quotidienne.

La productivité très variable des poules de ces systèmes d'élevage semble être une particularité qui doit être intégrée dans l'évaluation des risques de contamination des produits par la chlordécone.

#### Q8b Performance de croissance

Excepté 4 coqs, tous les animaux avaient fini leur croissance. En absence d'une variabilité de ce facteur, aucun dépouillement de l'effet de la croissance sur la contamination des produits en chlordécone n'a pu être envisagé.

#### Synthèse : score de risques des pratiques d'élevage

Les scores de risques des pratiques d'élevages ont été déterminés à partir de 9 questions (cf. ci-dessus) dont le score variait de 0 (sans aucun risque) à 5 (risque maximal) ce qui fait théoriquement un maximum possible de 45 points. Ces questions cernent le bâtiment, le parcours, l'alimentation, l'abreuvement en lien avec le risque d'entrer en contact avec le sol, éventuellement contaminé, et les performances des animaux. Certains facteurs ont été jugés moins déterminants que d'autres (type de nourriture distribuée, type et mode de distribution de l'eau d'abreuvement) et pour cette raison les points issus de ces questions ont été multipliés par 0,5 pour réduire leur poids sur le score final. Finalement, certaines questions n'étaient pas pertinentes dans certaines conditions d'élevage comme par exemple la surface du parcours en absence d'un parcours. Afin d'homogénéiser le nombre de points possibles et donc le nombre de questions pertinentes, le score a été ramené à un maximum possible de 5.

Score sur 5	Risque faible (score <1)	Risque assez faible (score entre 1 et 2)	Risque intermédiaire (score entre 2 et 3)	Risque assez élevé (score >3)
Nombre d'animaux	2	8	27	5

**Ces résultats montrent qu'un risque faible d'être exposé à la CLD est l'exception avec seulement 2 cas. La majorité des élevages (27 cas sur 42) ont été classés dans un risque intermédiaire. Cela**

semble correspondre aux pratiques majoritairement appliquées par les petits éleveurs. En raison de cette faible variabilité des risques dus aux pratiques d'élevage, l'analyse croisée avec la contamination du sol ne pourra qu'avoir une sensibilité limitée.

#### 4. Analyse croisée entre la contamination du sol du site et les pratiques d'élevage

##### 4.1. Effet des facteurs de risque et de la contamination du sol du site sur la contamination des tissus animaux

###### 4.1.1. Effet sur la contamination des foies

Les 42 oiseaux prélevés ont pu être analysés et les résultats sont classés dans le tableau 8.

Tableau 8 : contamination des foies ( $\mu\text{g}$  CLD/kg poids frais) en fonction de la contamination du sol du site et du score de risque (SR) des pratiques dans l'élevage (concentrations dans les poules en rouge, celles des coqs en bleu).

	SR < 1	1 < SR < 2	2 < SR < 3	SR > 3
< 0,1 mg CLD/kg sol sec	7	Nd, T                      T	Nd, Nd, T, T, 32, 48, 285 ; Nd, 33	Nd
< 0,5 mg CLD/kg sol sec		176                      185	51, 124, 315 ; 14,154	28                      19
< 1 mg CLD/kg sol sec		27, 36, 108 ; 35, 37	322	
> 1 mg CLD/kg sol sec			295, 339, 540, 680, 3483, 4520 ; 131, 870, 1298, 2100	889, 4221 ;  1144

Nd : non détecté (<LD), T : traces (<LQ mais >LD)

Le seul foie prélevé sur un coq dans un élevage avec un score de risque (SR) <1 (et en absence d'une contamination détectable du site) ne dépasse pas le seuil de 20  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Quand les SR s'échelonnent entre 1 et 2, les concentrations de la CLD dans les foies peuvent atteindre jusqu'à 185  $\mu\text{g}/\text{kg}$  et dépassent la LMR de l'arrêté français (20  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) dès qu'il y a détection de la CLD dans le sol du site. A partir d'un dépassement d'un score de risque de 2, il y a des dépassements du seuil de 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , même pour la classe de contamination du sol la plus faible. Cependant, ces dépassements restent limités à quelques cas minoritaires jusqu'à une contamination du sol à <0,5 mg CLD/kg de sol sec. Par contre, le dépassement de ce seuil de 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$  devient systématique et les foies peuvent atteindre des concentrations très élevées quand la contamination du sol atteint 0,5 mg CLD/kg et le SR dépasse 2.

#### 4.1.2. Effet sur la concentration en CLD des cuisses

Le jeu de données des 42 cuisses prélevées est classé dans le tableau 9 selon la contamination du sol du site et le score de risque des pratiques d'élevage.

Les données montrent que, tant que la contamination du sol reste < 1 mg/kg, la contamination des cuisses ne dépasse pas 2 fois la LMR du 396/2005. Par contre, dans la classe de contamination du sol à plus de 1 mg/kg aucun échantillon n'est conforme et seulement 3 des 13 échantillons restent dans la limite de « deux fois la LMR ». Par ailleurs, ces trois échantillons ont été obtenus dans des élevages disposant d'un bâtiment dont le sol était en terre nue (facteur de risque maximal) mais n'avaient soit pas de parcours soit un parcours très spacieux et bien couvert par la végétation (donc risque faible). Le nombre trop restreint de ces trois cuisses proches du seuil de 20 µg/kg ne permet pas de statuer clairement sur le rôle *a priori* déterminant des facteurs type de couverture du bâtiment et du parcours.

Le sexe des oiseaux ne semble pas du tout interférer avec les concentrations de CLD dans les cuisses dans les conditions de cette étude où quasi tous les animaux avaient fini leur croissance.

Tableau 9 : contamination des cuisses (µg CLD/kg brut) en fonction de la contamination du sol du site et du score de risque (SR) des pratiques dans l'élevage (les poules en rouge, les coqs en bleu).

	SR < 1	1 < SR < 2	2 < SR < 3	SR > 3
< 0,1 mg CLD/kg sol sec			T, 6                      T	30
< 0,5 mg CLD/kg sol sec		28                      35	Nd, 6, 13, 41 ; 14	T                      T
< 1 mg CLD/kg sol sec	T	T, T, 13 ;                      5	28	
> 1 mg CLD/kg sol sec			34, 66, 81, 337, 819 ; 24, 82, 362	43, 57, 635 ; 167, 274

Nd : non détecté (<LD), T : traces (<LQ mais >LD)

#### 4.1.3. Effet sur la contamination du gras abdominal

Aucun des 9 échantillons de gras abdominal n'a été contaminé en CLD sur les sites considérés comme non contaminés (<0,01 mg/kg de sol sec). Il est à noter qu'un manque de dépôt lipidique a empêché l'analyse du gras abdominal pour 4 oiseaux. Le classement des 29 échantillons de gras abdominal restant ayant une concentration quantifiable en CLD est présenté dans le tableau 10.

Tous les échantillons de gras abdominal prélevés sur des sites avec <1 mg CLD/kg de sol sec ont des concentrations en CLD inférieures à la LMR. Par contre seuls deux des 10 échantillons issus des sites à >1 mg CLD/kg de sol sec ne dépassent pas la LMR. Cet effet très marqué du sol ne semble pas être

modulé par le score des pratiques d'élevage ou le sexe des animaux même si la distribution des individus dans les classes doit inciter à une certaine prudence avant généralisation.

Tableau 10 : contamination du gras abdominal ( $\mu\text{g}$  CLD/kg brut) en fonction de la contamination du sol du site et du score de risque (SR) des pratiques dans l'élevage (les poules en rouge, les coqs en bleu).

	SR < 1	1 < SR < 2	2 < SR < 3	SR > 3
< 0,1 mg CLD/kg sol sec	T		7, 21, 75 14	
< 0,5 mg CLD/kg sol sec		70 93	26, 114, 11 6, 54	7
< 1 mg CLD/kg sol sec	18	8, 11, 37 12	99	
> 1 mg CLD/kg sol sec			132, 200, 219, 872, 2370 ; 90, 301, 494, 858	1153

T : traces (<LQ mais >LD)

#### 4.1.4. Effet sur la contamination des œufs

La contamination des œufs (tableau 11) est très fortement liée à la concentration du CLD dans le sol du site comme démontré précédemment. La LMR de 20  $\mu\text{g}/\text{kg}$  est systématiquement dépassée dès que la concentration de la CLD dans le sol dépasse 0,1 mg/kg. Ainsi, l'effet des pratiques d'élevage au sein d'une classe de sol sur la concentration du CLD dans l'œuf semble peu évident même si le faible nombre d'échantillons analysés (n=18) et sa distribution dans les classes de risques entraîne dès le départ une puissance statistique modeste. L'effectif semble donc trop faible pour pouvoir conclure à l'absence d'un effet des pratiques d'élevage au sein d'une classe de contamination des sols du site.

Tableau 11 : contamination des œufs ( $\mu\text{g}$  CLD/kg d'œuf écaillé) en fonction de la contamination du sol du site (mg CLD/kg de sol sec) et du score de risque (SR) des pratiques dans l'élevage.

Contamination du sol	SR < 1	1 < SR < 2	2 < SR < 3	SR > 3
< LQ (<0,01)		Nd, 2	Nd, T, 2	T
< 0,1 mg CLD/kg			5, 17	
< 0,5 mg CLD/kg			30, 266	26
< 1 mg CLD/kg		21, 105	219	
> 1 mg CLD/kg			355, 503, 3548, 3828	

Nd : non détecté (<LD), T : traces (<LQ mais >LD)

## 4.2. Analyses des cas au sein d'une classe de concentration du chlordécone dans le tissu considéré

Une analyse au cas par cas est proposée ci-dessous qui regroupe les sites d'élevage avec leurs caractéristiques en fonction de la classe de contamination des foies, des cuisses et des œufs afin de synthétiser les différentes modalités d'élevages qui ont abouti à un certain niveau de contamination des tissus. Par contre, une telle analyse n'a pas été entreprise pour les gras abdominaux dont la distribution est proche de celle des foies. De plus, ce tissu est moins intéressant du point de vue consommation.

### 4.2.1. Analyses des foies par classe de contamination

Le foie étant le premier filtre du corps après l'ingestion et l'absorption de la CLD, l'analyse de sa contamination en fait un point particulièrement sensible. Les 42 foies (27 de poules et 15 de coqs) se distribuent en quatre classes:

- 9 échantillons (7 poules et 2 coqs) ayant une concentration en CLD soit indétectable soit inférieure à la limite de quantification (5 µg/kg de produit frais),
- 3 échantillons de coqs avec une concentration quantifiable de CLD mais conforme à la LMR de l'arrêté français,
- 15 échantillons (9 poules et 6 coqs) avec une concentration entre 20 et 200 µg/kg de poids frais. Cependant, deux tiers (6 poules et 3 coqs) de ces échantillons restent en-deçà de 50 µg/kg (valeur limite provisoire fixée par arrêté ministériel du 5 octobre 2005).
- et finalement 15 échantillons (11 poules et 4 coqs) avec une concentration très élevée de la CLD dans les foies (>200 µg/kg de poids frais) dont 3 poules et 3 coqs **franchissent la barre du milligramme /kg pour atteindre 4,5 mg/kg** dans l'échantillon le plus contaminé.

La première classe correspond à des animaux prélevés sur des sites dont la contamination du sol en CLD était inférieure à la LQ. Dans un tel scénario, les conditions d'élevage n'ont visiblement aucun impact comme il n'y a pas de contamination quantifiable des foies.

Les 3 coqs de la deuxième classe (foies conformes mais avec une contamination quantifiable) sont en cohérence par rapport aux contaminations des autres tissus : eux aussi tous conformes même si les gras abdominaux présentent des concentrations quantifiables (<10 µg/kg) contrairement aux cuisses qui ne contiennent que des traces de la CLD. Ces trois coqs étaient élevés sur des sites modestement contaminés (<0,3 mg CLD/kg de sol) (échantillons *G7273, M001 et M015*).

Les 15 cas de la troisième classe rassemblent des cas de figure assez différents. Le premier sous-ensemble de 6 poules et de 3 coqs (*G10399 ♀ & ♂, G10346, G10534, G10543 ♀ & ♂, G12987, M006 et M012*) ne dépasse les 20 µg/kg de foie que de manière assez modeste avec un maximum de 51 µg/kg. La contamination de ces sites peut atteindre 0,81 mg CLD/kg de sol mais ne dépasse en général pas 0,5 mg/kg. Ces sites disposent soit d'un bâtiment d'élevage avec sol bétonné (3 sites pour 4 oiseaux) soit d'un sol très faiblement contaminé (4 sites pour 5 animaux). Les autres tissus de ces mêmes animaux ne

contiennent soit que des traces de CLD (cuisses), soit des concentrations en dessous de la LMR (gras abdominaux). Cependant trois des cinq œufs dépassent légèrement la LMR, jusqu'à 30 µg/kg d'œuf écaillé. Cette cohérence entre la contamination des différents tissus, évoquée précédemment (chapitre 2.2) semble indiquer que la limitation de l'exposition des animaux doit se faire soit par une (très) faible contamination du sol du site soit une dalle bétonnée du bâtiment et un parcours, soit avec certes une contamination non négligeable du parcours (*G12987* : 0,81 mg/kg de sol et *M012* : 0,66 mg/kg) mais très spacieux et bien couvert par la végétation. Dans ces deux cas de figure, les pratiques d'alimentation et d'abreuvement ne sont pas particulièrement protectrices, sans pour autant empêcher de contenir la contamination des tissus à un niveau acceptable. Ainsi le rôle primordial de la contamination du sol et la nécessité de protéger les animaux vis-à-vis de ce facteur d'exposition sont confirmés.

Un deuxième sous-ensemble de cette troisième classe (3 poules et 3 coqs) regroupe les animaux ayant un foie fortement contaminé (entre 130 et 185 µg/kg) sur des sites d'élevages contaminés d'une manière très variable (*G9515*, *G11071*, *G12987*, *G15730* et *M011*). Comme 3 des sites sont équipés d'une dalle au moins partiellement bétonnée, son effet protecteur est donc à nuancer. Malgré un parcours spacieux (excepté *G9515*) mais parfois contaminé à 0,81 mg/kg (*G12987*), la distribution de l'alimentation à même le sol (*G12987*, *M011*) et/ou des produits du jardin (*G9515*, *G12987*) semble contrecarrer l'effet plus protecteur du bâtiment. La contamination de tous les tissus du coq du site *G11071* semble étonnamment modérée compte tenu d'une forte contamination (>1,7 mg/kg) des sols du bâtiment en terre battue et du parcours, et cela d'autant plus que les tissus de la poule du même site ont des concentrations au moins 4 fois supérieures. Par ailleurs, sur 5 sites ont été prélevés une poule et un coq en même temps et les foies des animaux des deux sexes correspondent pour 4 sites (*G15730*, *G10543*, *G10399* et *G12987*) sur 5 à la même classe de contamination contrairement au couple du 5<sup>ème</sup> site *G11071*.

La quatrième classe regroupe des animaux dont la grande majorité (7 poules et tous les 4 coqs) est élevée sur des sites très fortement contaminés (>1 mg CLD/kg de sol sec). Seules trois poules (*G4050*, *M013* et *M014*) sont élevées sur des sites contaminés à moins de 0,7 mg/kg de sol. Les concentrations de la CLD dans leurs foies se situent dans le bas de ce groupe (entre 285 et 322 µg/kg) et les autres tissus de ces trois poules sont contaminés à des niveaux cohérents avec ceux des foies. Le cas de la poule du site *G4050* surprend : absence d'un bâtiment et un parcours spacieux (200 m<sup>2</sup>/animal), enherbé et très faiblement contaminé (0,07 mg/kg). Cependant, l'alimentation est distribuée à même le sol, l'abreuvement se fait *via* une mare et cette poule ne pond plus (depuis un certain temps). La question de la représentativité de l'analyse du sol de ce site peut être posée. Le cas du site *M014* (contamination du sol 0,16 mg/kg) est semblable.

Cependant, dans le contexte de sites majoritairement (13 cas sur 15) très fortement contaminés, les pratiques d'élevages ne semblent pas pouvoir réduire l'effet majeur de la contamination du sol sur celle des foies.

**En conclusion, un élevage sur un site non contaminé (c'est à dire avec une teneur en CLD dans le sol inférieure à la LQ) ne présente pas de risque. Au contraire, un élevage sur un site contaminé à >1 mg CLD/kg conduit toujours à des foies très fortement contaminés. Dans ces deux cas de figure, les pratiques d'élevages n'ont pas d'impact sur la contamination des foies.**

**Si le site est contaminé à <0,5 mg CLD/kg de sol, des pratiques d'élevage réduisant le contact entre les oiseaux et le sol permettent souvent d'obtenir des foies conformes (ou ne dépassant que légèrement le seuil de 20 µg/kg) malgré une contamination quantifiable. Il apparaît que le sol du bâtiment et la couverture du parcours par une végétation dense sont des paramètres plus sensibles que l'alimentation et l'abreuvement même si ces deux derniers paramètres n'ont que faiblement varié dans ce jeu de données. Par contre, des pratiques d'élevage peu protectrices peuvent, même sur un sol faiblement contaminé, conduire à des foies contaminés au-delà de la LMR et cela y compris sur des sols contaminés de manière modeste. Une combinaison faible contamination du sol (<0,5 mg CLD/kg) et pratiques d'élevage protectrices (bâtiment sans terre nue, parcours bien enherbés...) laisse encore envisager des foies conformes même si un contrôle régulier de la contamination réelle des foies semble indispensable. Par contre, un élevage sur des sites contaminés >0,5 mg CLD/kg ou des pratiques d'élevages qui ne réduisent pas le contact entre les oiseaux et le sol ne semblent pas compatibles avec l'obtention de foies conformes.**

#### **4.2.2. Analyse des cuisses par classe de contamination**

Dans le cadre de l'étude, 42 cuisses avec peau de 27 poules et de 15 coqs ont été analysées. Les résultats sont ainsi distribués en quatre classes:

- 18 échantillons ayant une concentration en CLD soit indétectable soit inférieure à la limite de quantification (5 µg/kg de produit frais)
- 6 échantillons avec une concentration quantifiable de CLD mais conforme à la réglementation (entre 5 et 20 µg/kg de poids frais)
- 8 échantillons avec un dépassement d'environ deux fois la LMR ( $\leq 43$  µg/kg de poids frais)
- Et 10 échantillons présentant des concentrations en CLD élevées (>50 µg CLD/kg de poids frais)

Les animaux de la première classe avec quasiment pas de CLD dans les cuisses sont en très grande majorité élevés sur des sites avec pas ou très peu de CLD dans le sol (<0,01 mg /kg). Les cuisses d'une poule et d'un coq ont été prélevées dans un élevage (*G10543*) sur dalle en béton sans accès au parcours (contaminé à 0,52 mg CLD/kg). Les cuisses de ces deux oiseaux ne présentent que des traces de CLD. Par contre, 4 échantillons sans contamination proviennent de sites avec détection de CLD dans le sol : il y a les cuisses de trois animaux (*M001*, *G7273*, *G10534*) élevés sur des sites faiblement contaminés (0,12 à 0,26 mg CLD/kg de sol sec) et même une cuisse (*M012*) en provenance d'un site dont le parcours est contaminé à 0,66 mg/kg mais les animaux sont logés sur une dalle qui est pour 3/4 en béton et 1/4 en

terre battue. En absence d'une analyse de la terre du bâtiment, il est probable que sa contamination avoisine celle du parcours. Le parcours de ce dernier site est spacieux et enherbé. La nourriture (épiluchures non racinaires du jardin) est distribuée dans une mangeoire et de l'eau potable est proposée dans un abreuvoir. La poule pond un œuf par jour. L'absence de CLD quantifiable (mais présence de traces) dans ce dernier échantillon surprend même si une dalle en majorité bétonnée et le parcours couvert de végétaux limitent considérablement le contact entre animaux et sol.

La deuxième classe des cuisses conformes mais contenant du CLD concerne 4 sites faiblement contaminés (<0,3 mg CLD/kg de sol). Mais aussi les cuisses d'une poule et d'un coq d'un même site (*G12987*) dont les animaux sont logés sur une dalle en béton et dont le parcours spacieux et couvert de végétation est contaminé à 0,81 mg CLD/kg. Les animaux de ce dernier site sont nourris avec des fruits du jardin posés à même le sol et l'eau de pluie est proposée dans une gamelle. La ponte de la poule est d'intensité intermédiaire sans que cela affecte la contamination de la cuisse ou du gras abdominal en comparaison au coq du même site.

La troisième classe regroupe les 8 cuisses avec un dépassement limité du seuil de 20 µg/kg. La contamination des sols de ces sites est très variable, allant de 0,07 à 1,75 mg CLD/kg sol. Un cas particulier semble être la poule et le coq d'un site (*G11071*) dont le sol est très fortement contaminé (1,75 mg CLD/kg de sol sec). Alors que la poule est très fortement contaminée (81 µg CLD/kg de cuisse et 3828 µg CLD/kg d'œuf écaillé), la cuisse du coq est presque conforme (24 µg CLD/kg). Cette différence est retrouvée de manière atténuée sur le gras abdominal (200 versus 90 µg CLD/kg respectivement pour la poule et le coq). Aucune différence de gestion des animaux des deux sexes n'a été relevée dans cet élevage. La ponte assez intensive de la poule (5 œufs par semaine) semble insuffisante pour expliquer l'écart considérable et atypique entre les deux animaux d'un même site. Un résultat contraire est observé dans un élevage de poules Djem (*G3043*) où la cuisse du coq est plus fortement contaminée que celle de la poule (362 versus 34 µg/kg). Comme la quantité de gras abdominal prélevée s'est avérée insuffisante pour l'analyse, il n'est pas possible de généraliser une contamination plus forte du coq. Dans cet élevage, il n'y a pas non plus de différences de pratiques entre les deux sexes et la ponte de ces poules est inconnue. En absence d'une variation dans les pratiques d'élevage entre les deux sexes et d'une ponte significative des poules, une différence dans le comportement exploratoire peut être une hypothèse d'explication. Une autre hypothèse se base sur des particularités de la poule Djem (génétique, comportement d'exploration) étudiées plus loin (paragraphe III.6). Par ailleurs, la difficulté d'obtenir du gras abdominal de ces animaux reflète des particularités du métabolisme notamment lipidique.

Sur des sites faiblement contaminés (<0,3 mg CLD/kg de sol sec), les cuisses de quatre animaux (*G4050 ; M011 ; M013 ; M014 ; G9515*) ne dépassent que faiblement la LMR avec des teneurs en CLD de 28 à 41 µg/kg. Les pratiques de ces élevages ont été présentées précédemment (4.2.1).

Finalement, sur un site (G3050) fortement contaminé (1 mg CLD/kg de sol sec), la cuisse n'est contaminée qu'à 43 µg CLD/kg de poids frais. Il s'agit d'une poule Djem dont les conditions d'élevage ne sont pas particulièrement protectrices vis-à-vis du sol contaminé : bâtiment d'élevage sur terre battue, parcours soit inexistant soit très restreint, alimentation présentée au sol, ponte inexistante ou inconnue. Même si les poules de type « Djem » sont réputées vivre en partie perchées et donc moins en contact avec le sol (aux dires des éleveurs locaux), la faible contamination de ces cuisses reste étonnante.

La dernière classe concerne les cuisses très fortement contaminées, toutes issues de sites à plus d'1 mg CLD/kg de sol sec. Une contamination de sol aussi élevée semble difficilement compatible avec des cuisses conformes même si la cuisse du site (G3050) de la troisième classe et les cuisses des poules des sites G3630 et G5732, contaminées respectivement à 57 et 66 µg/kg, semblent indiquer que quelques exceptions existent. Les pratiques d'élevage ne permettent pas de donner des indications claires. La modalité d'un élevage hors sol sur site très contaminé n'a pas été analysée dans cette étude, ce qui ne permet pas de se prononcer sur ce cas même si cette modalité permettant d'éloigner les animaux du sol fortement contaminé afin d'obtenir des produits conformes semble possible.

**Cette synthèse sur les contaminations des cuisses confirme le rôle primordial de la teneur du sol en CLD: pas ou quasiment pas de CLD dans des cuisses sur des sites dont le sol est non contaminé et *a contrario* des cuisses très fortement contaminées sur les sites contaminés au-delà de >1 mg CLD/kg de sol sec. Ces deux groupes extrêmes ne semblent pas impactés de manière significative par les pratiques d'élevage.**

**Les sites faiblement contaminés (<0,3 mg CLD/kg de sol sec) ou plus fortement contaminés (0,8 mg/kg) mais avec une dalle bétonnée dans le bâtiment permettent de maintenir la contamination des cuisses en dessous de la LMR de l'arrêté français même si le nombre restreint d'échantillons (n=6) doit inciter à la prudence avant généralisation. Finalement, un dépassement retenu (deux fois la LMR) a été observé sur un groupe de 8 échantillons dont l'analyse des pratiques d'élevage et du sexe des oiseaux ne permettent pas de conclure pourquoi la contamination très variable du site n'entraîne pas une contamination plus conséquente des cuisses analysées comme pour le groupe « cuisses très fortement contaminées ». Même si la limitation du contact des oiseaux avec le sol contaminé – prouvé sur les deux groupes extrêmes – doit rester la piste de réflexion majeure pour maîtriser la conformité des cuisses, les deux classes intermédiaires ne permettent pas de le confirmer en raison de quelques cas atypiques.**

#### **4.2.3. Effet sur la contamination des œufs**

Le jeu de données consiste en 18 résultats d'analyse d'échantillons d'œufs recalculés par rapport à la référence d'un œuf écaillé (cf. paragraphe 2.1.1.) qui se distribuent en trois classes :

- 8 échantillons ayant une concentration en CLD inférieure à la LMR et une concentration des sols <0,05 mg CLD/kg

- 8 autres échantillons ayant une concentration de CLD entre la LMR (20 µg/kg d'œuf écaillé) et 500 µg/kg pour des teneurs dans le sol du site s'échelonnant de 0,16 à 1 mg CLD/kg
- Et finalement deux échantillons présentent des concentrations en CLD très élevées dans l'œuf (>3500 µg CLD/kg d'œuf écaillé) et dans le sol (>1,2 mg CLD/kg de sol sec).

L'effet des pratiques d'élevage est surtout intéressant à étudier dans la classe intermédiaire. En effet, les pratiques d'élevage sur un site avec (quasiment) pas de CLD dans le sol n'affectent pas la concentration du CLD des œufs et *a contrario* sur des sites très contaminés, les produits sont tellement contaminés, qu'une amélioration des pratiques d'élevage ne semble pas pouvoir remédier à la contamination observée des œufs.

Le nombre restreint de données invite à une analyse individuelle des 8 cas.

La comparaison particulièrement intéressante des œufs des sites (*M012 et M013*), dont la contamination des sites est quasi-identique, donne une tendance intéressante. Dans le premier site les poules sont logées sur une dalle en béton avec un accès à un parcours très spacieux mais contaminé à 0,66 mg CLD/kg de sol. Sur l'autre site, les animaux sont confinés dans un poulailler sur terre battue (à 0,67 mg CLD/kg de sol) sans accès à un parcours. La contamination des œufs des poules du premier site est quasi conforme avec 21 µg/kg mais elle est dix fois supérieure (219 µg/kg) sur l'autre site. Par ailleurs la contamination des gras abdominaux et des cuisses confirment l'écart de contamination des produits des deux sites.

En plus de la différence d'espace alloué aux poules, sur le site ayant les œufs plus contaminés la nourriture est distribuée à même le sol et l'abreuvement dans la rivière favorise l'ingestion de particules (de sol) en suspension. La performance de ponte (évaluée à un œuf par jour) et le type de nourriture (*a priori* pas très exposé au CLD) ne diffèrent pas entre les deux sites. En conclusion, un confinement sur un sol contaminé semble impacter fortement la contamination des produits animaux contrairement à un élevage dans un poulailler sur dalle bétonnée et avec un parcours spacieux malgré la contamination non négligeable du site. La distribution de nourriture et de l'eau en minimisant la souillure par le sol (contaminé) renforce la différence entre les deux sites *a priori* semblables.

L'œuf du site (*G5732*) fortement contaminé (1 mg CLD/kg de sol) présente une concentration en CLD de 355µg/kg d'œuf écaillé, par ailleurs confirmée par la contamination conséquente du foie, du gras abdominal et de la cuisse (respectivement 680 µg/kg, 219 µg/kg et 66 µg/kg). Les animaux sont logés dans un bâtiment avec un sol ensablé *a priori* peu accumulateur de CLD (0,71 mg CLD/kg de sol sec) et un parcours spacieux deux fois plus contaminé (1,34 mg/kg). La nourriture et l'eau sont distribuées de manière isolée du sol et une ponte intense devrait permettre de ralentir l'accumulation du CLD dans le métabolisme des oiseaux. Même si la contamination des produits est loin d'être négligeable sur ce site fortement contaminé, elle semble être atténuée par des pratiques d'élevage réduisant le contact entre les animaux et le sol.

Les produits du site (*G12987*), contaminé à 0,8 mg CLD/kg, confirment ces observations. L'œuf est contaminé au-delà de la LMR mais à un niveau atténué (105 µg CLD/kg) et les autres produits sont conformes, y compris ceux issus du coq prélevé au même site. Les animaux sont logés sur une dalle en béton et disposent d'un parcours très spacieux et bien couvert par la végétation. Les animaux sont nourris avec des produits du jardin disposés sur le sol (bétonné) du bâtiment. L'abreuvement donne peu d'occasion d'être en contact avec le sol et la ponte est modeste (2 œufs par semaine) ce qui pourrait expliquer la non-conformité de l'œuf particulièrement exposé à l'accumulation du CLD contrairement aux autres produits étudiés.

Par contre, une contamination modeste de sites (<0,3 mg CLD/kg de sol sec) peut quand même conduire à des produits contaminés (très légèrement) au-dessus de la LMR à l'exemple des sites *G10346* et *G10534*. Les poules de ces sites sont nourries au sol avec des produits du jardin ce qui devrait favoriser l'ingestion de sol du site. L'abreuvement se fait dans des récipients souillés par la terre du site mais avec une eau *a priori* propre (eau potable). Ces animaux pondent peu ce qui favorise l'accumulation dans les tissus du CLD ingéré.

La contamination des produits de la poule du site (*M014*) varie : bien au-dessus de la LMR pour l'œuf (266 µg/kg) et le foie (315 µg/kg), faible dépassement pour la cuisse (41 µg/kg) et conforme pour le gras abdominal (114 µg/kg). La contamination du sol du site est modeste (<0,2 mg/kg) mais bâtiment et parcours sont en terre nue. La nourriture (du commerce) est disposée au sol et l'abreuvement entraîne peu de contact avec la terre. La performance de ponte de cette poule a été évaluée à un œuf par jour. En résumé : malgré une contamination modeste du site, la contamination forte de l'œuf (et du foie) doit être mise en rapport avec le contact intense des animaux avec le sol. Il est possible que la forte performance de ponte ait atténué l'accumulation du CLD dans les autres tissus.

Finalement, le site (*G14/1*) contaminé à 1 mg CLD/kg de sol sec présente la particularité d'un bâtiment quasiment pas contaminé (<0,1 mg/kg) et d'un parcours très fortement contaminé (1,9 mg/kg). La forte contamination de l'œuf (503 µg/kg) est confirmée par la forte contamination du foie (3483 µg/kg), du gras abdominal (872 µg/kg) et aussi de la cuisse (337 µg/kg) bien au-delà des LMR respectives. Le bâtiment est en terre battue (mais faiblement contaminé). Le parcours est spacieux et bien couvert par une végétation dense. Par ailleurs, il semble étonnant que la terre du bâtiment ne soit pas contaminée tandis que le parcours l'est fortement avec un risque évident d'une contamination du sol du bâtiment par celui du parcours. La nourriture (du commerce) était disposée au sol mais l'abreuvement avait lieu sans contact avec le sol. Cette poule ne pondait plus, accentuant l'accumulation du CLD dans les tissus.

En conclusion, l'effet des pratiques d'élevage sur la contamination des denrées et notamment de l'œuf est moindre que celui de la teneur en CLD du sol. En conséquence, une forte concentration de CLD dans le sol (1 mg /kg ou plus) est incompatible avec la production de volailles pour la consommation. Une absence de CLD dans le sol (i.e. <0,1 mg CLD/kg de sol sec) permet d'obtenir des denrées de volailles

conformes à la LMR sans effet des pratiques d'élevage même s'il est toujours souhaitable de minimiser l'ingestion du sol par les oiseaux. Dans la marge entre ces deux concentrations seuil, l'effet majeur de la concentration dans le sol doit inciter à réduire le contact entre les animaux et le sol autant que possible. **Une synthèse de ces 8 cas dans cette gamme de concentration nécessite de rappeler la fragilité des généralisations due au nombre restreint des données. Elle semble indiquer que la couverture du sol du bâtiment semble avoir un impact primordial sur l'ampleur du transfert d'une contamination éventuelle du sol vers les œufs. Le sol du parcours influence à un degré moindre la contamination, notamment quand il est spacieux et bien couvert par une végétation dense. La distribution de la nourriture au sol est clairement un facteur aggravant quand ce dernier est contaminé. En raison des faibles variations de la modalité 'type d'alimentation', l'effet de la qualité nutritionnelle de l'alimentation sur la contamination *via* une ingestion plus élevée de sol n'a pas pu être mis en évidence dans cette étude contrairement à la littérature (Waegeneers et al 2009 ; Jondreville et al 2010). La variation des modalités d'abreuvement ne donne que peu de pertinence à cette analyse. Finalement, la performance de ponte ne semble que peu impacter la concentration dans les œufs mais pourrait atténuer l'exposition des autres tissus en cas de forte exposition des oiseaux. Ce dernier aspect rend l'analyse de l'impact des pratiques d'élevage à travers la contamination des œufs particulièrement intéressante.**

##### **5. Effet du sexe des animaux sur la contamination des denrées**

Une comparaison de la contamination des denrées « cuisse », « gras abdominal » et « foie » entre les animaux des deux sexes a été réalisée sur la base de 10 couples poule et coq prélevés dans le même élevage, deux en Martinique et huit en Guadeloupe. Les données détaillées sont présentées dans les tableaux 12 à 14 respectivement pour les cuisses, les gras abdominaux et les foies.

La contamination de la cuisse des animaux d'un même site ne semble pas varier en fonction des sexes même si le faible nombre de données (10 couples poule-coq) ne permet qu'une faible puissance statistique. Comme évoqué précédemment, l'effet du sol sur la contamination de la cuisse est très net et indépendant du sexe : les cuisses des animaux dont le site contient <1 mg CLD/kg de sol sec sont conformes contrairement aux animaux élevés sur les sites ayant plus d'1 mg CLD/kg de sol.

Tableau 12 : contamination en chlordécone de la cuisse en fonction du sexe de l'animal, de la contamination du sol du site et de l'intensité de la ponte des poules.

Elevage	CLD sol (mg CLD/kg de sol sec)		CLD cuisse (µg CLD/kg de poids frais)		Intensité de ponte (Œufs/poule & semaine)
	Bâtiment	parcours	poule	coq	
M002	< 0,01	< 0,01 (poules seulement)	< LD	< LD	4
M007	pas de bat.	<0,01	< LD	< LD	0
G10399	pas de bat.	0,01	6	< LQ	4
G15730	0,22	pas de parcours	13	14	2 à 3
G10543	béton	pas de parcours	< LQ	< LQ	0
G12987	béton	0,81	13	5	4 à 5
G3630	1,02	pas de parcours	57	<b>167</b>	0
G3043	1,08	0,75 *	34	<b>362</b>	0
G11071	1,73	1,78	<b>81</b>	24	5
G2578	pas de bat.	2,36	<b>635</b>	274	0

a Les animaux de type « Djem » n'avaient pas accès au parcours, la concentration en CLD du sol n'est donc pas prise en compte

**Cet échantillon de 10 couples ne permet pas d'affirmer l'hypothèse d'une moindre exposition des poules grâce à une élimination du CLD absorbé *via* la ponte en comparaison aux coqs. En effet, aucun lien ne peut être établi entre l'intensité de la ponte et le fait que les cuisses des poules soient moins contaminées que celles des coqs (tableau 12).**

Contrairement aux résultats de contamination des cuisses, il apparaît une tendance à une contamination équivalente ou supérieure du gras abdominal des poules en comparaison à celui des coqs (tableau 13). Néanmoins, le jeu de données est assez fragile puisque 4 échantillons (2 poules et deux coqs) n'ont pas pu être analysés à cause d'un engraissement insuffisant des animaux. Ainsi seuls 7 couples complets poule-coq sur le même site sont disponibles dont 4 avec une valeur de concentration supérieure dans le gras de la poule en comparaison au gras du coq du même élevage et pour seulement 2 cas sur ces 4 avec des concentrations nettement supérieures chez les poules. **Ce faible nombre de données doit donc inciter à ne pas généraliser la légère tendance d'une contamination plus faible du gras abdominal des coqs.**

Tableau 13 : contamination du gras abdominal en chlordécone en fonction du sexe de l'animal, de la contamination du sol du site et de l'intensité de la ponte des poules.

Elevage	CLD sol (mg CLD/kg de sol sec)		CLD gras abdominal (µg CLD/kg de poids brut)		Intensité de ponte (Œufs/poule & semaine)
	Bâtiment	parcours	poule	coq	
M002	< 0,01	< 0,01 (poules seulement)	< LD	< LD	4
M007	pas de bat.	<0,01	< LD	< LD	0
G10399	pas de bat.	0,01	21	14	4
G15730	0,22	pas de parcours	?	54	2 à 3
G10543	béton	pas de parcours	< LQ	< LQ	0
G12987	béton	0,81	37	12	4 à 5
G3630	1,02	pas de parcours	?	?	0
G3043	1,08	0,75 <sup>a</sup>	?	853	0
G11071	1,73	1,78	200	90	5
G2578	pas de bat.	2,36	1153	494	0

? : masse de l'échantillon insuffisante pour réaliser l'analyse

<sup>a</sup> Les animaux de type « Djem » n'avaient pas accès au parcours dont la concentration en CLD n'est donc pas prise en compte

**La comparaison des contaminations des foies** des 10 couples poules-coqs (tableau 14) ressemble beaucoup à celle obtenue sur les cuisses des mêmes couples (tableau 12). Elle **ne permet pas de conclure à un effet évident du sexe pour des animaux d'un même site.**

Tableau 14 : contamination des foies en chlordécone en fonction du sexe de l'animal, de la contamination du sol du site et de l'intensité de la ponte des poules.

Elevage	CLD sol (mg CLD/kg de sol sec)		CLD foie (µg CLD/kg de poids brut)		Intensité de ponte (Œufs/poule & semaine)
	Bâtiment	parcours	poule	coq	
M-002	< 0,01	< 0,01 (poules seulement)	< LQ	< LQ	4
M-007	pas de bat.	<0,01	< LD	< LD	0
G-10399	pas de bat.	0,01	48	33	4
G-15730	0,22	pas de parcours	124	<b>154</b>	2 à 3
G-10543	béton	pas de parcours	27	35	0
G-12987	béton	0,81	<b>108</b>	37	4 à 5
G-3630	1,02	pas de parcours	889	<b>2100</b>	0
G-3043	1,08	0,75 <sup>a</sup>	295	<b>1298</b>	0
G-11071	1,73	1,78	<b>540</b>	131	5
G-2578	pas de bat.	2,36	<b>4221</b>	1144	0

<sup>a</sup> Les animaux de type « Djem » n'avaient pas accès au parcours dont la concentration en CLD n'est donc pas prise en compte

## 6. Analyse des contaminations des produits issus d'oiseaux de type « Djem »

Cette enquête a permis de collecter dans des élevages guadeloupéens 8 poules et 5 coqs de type « Djem », très emblématiques dans les Antilles françaises.

Seul un œuf collecté et un jaune de la grappe ovarienne pouvaient être analysés sur les 8 poules ce qui limite l'intérêt de l'analyse de leurs concentrations en CLD. Par ailleurs, la tentative d'analyser les grappes ovariennes des 6 autres poules a échoué à cause d'une quantité de jaune trop faible, soulignant la très faible productivité de ponte de ces oiseaux, au moins à cet époque de l'année.

Quant aux cuisses (tableau 15), cinq échantillons (3 coqs et 2 poules) sont conformes à la LMR de 20 µg/kg malgré une contamination du sol du site non négligeable (jusqu'à 0,8 mg/kg de sol sec mais avec une dalle bétonnée). Quatre cuisses de poules élevées sur des sites contaminés à un degré variable, restent dans un dépassement de trois fois ce seuil (<60 µg CLD/kg de poids frais). Il est étonnant que trois sur ces 4 oiseaux aient été élevés sur des sites aux alentours d'1 mg CLD/kg de sol avec des pratiques d'élevage qui ne font pas apparaître un éloignement particulier des animaux du sol contaminé. Finalement, 4 cuisses (2 poules et 2 coqs) présentent un dépassement très marqué de la LMR avec >250 µg CLD/kg sur des sites à >1 mg CLD/kg de sol.

Tableau 15 : effet de la contamination du sol du site sur la contamination des cuisses des volailles de type « Djem » (poules en rouge, coqs en bleu).

mg /kg SOL	< 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à < 1	> 1
<b>Cuisses</b>				
< LQ (5 µg CLD/kg de poids frais)		T T		
> LQ, < 20 µg CLD/kg de PF		14	13 5	
< 60 µg CLD/kg de poids frais	30			34, 43, 57
> 60 µg CLD/kg de poids frais				635, 819 274, 362

T : traces (<LQ mais >LD)

L'analyse des foies des volailles de type « Djem » (tableau 16) montre qu'aucun des treize échantillons n'a une concentration en CLD inférieure à la LMR de l'arrêté français. De même que pour les cuisses des poules « Djem », des dépassements modestes de ce seuil se rencontrent sur des sites contaminés de manière variable. La très grande majorité des foies de ces animaux (10 sur 13) présentent des contaminations très fortes et cela encore sans lien évident avec la contamination du site ou du sexe des oiseaux. Même si ces animaux semblent *a priori* un peu moins sensibles à la contamination des sites, éventuellement en lien avec leur mode de vie moins confinée au sol, la forte contamination quasi systématique pourrait être due à un cycle de vie long (exposition d'une longue durée) et à une ponte généralement plus faible que les poules des souches classiques d'élevage (moindre élimination via la ponte). Ces hypothèses mériteraient une validation par un essai spécifiquement conçu pour cette question.

Tableau 16 : effet de la contamination du sol du site sur la contamination des foies des volailles de type « Djem » (poules en rouge, coqs en bleu).

mg /kg SOL	< 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à < 1	> 1
<b>Foies</b>				
< 20 µg CLD/kg de poids frais				
< 60 µg CLD/kg de poids frais		27, 35	37	
> 60 µg CLD/kg de poids frais	285	154	108	295, 339, 889, 4221, 4520, 1144, 1298

Finalement, l'analyse des gras abdominaux (tableau 17) se limite à 11 oiseaux car deux femelles n'avaient pas un dépôt lipidique permettant l'échantillonnage. Même si les plus fortes concentrations dans le gras sont mesurées sur les sites les plus fortement contaminés (>1 mg/kg), la contamination en

CLD ne semble pas aussi fortement liée à celle du site (si contaminé à <1 mg/kg) que chez les souches d'élevage. Cette observation confirme donc aussi pour les échantillons de gras abdominal ce qui a été indiqué précédemment pour les cuisses et les foies des oiseaux de type « Djem ».

Par ailleurs, un tiers des échantillons de gras des animaux « Djem » (4 sur 11) dépassent la LMR ce qui semble beaucoup par rapport aux 3 cas des 29 oiseaux de souches classiques d'élevage. La LMR assez élevée (200 µg/kg de poids brut pour la graisse) restreint le nombre de dépassements en comparaison à d'autres tissus discutés précédemment (tableau 17).

Tableau 17 : effet de la contamination du sol du site sur la contamination des gras abdominaux des volailles de type « Djem » (poules en rouge, coqs en bleu).

Gras abdominaux	mg /kg SOL	< 0,1	0,1 à 0,5	0,5 à < 1	> 1
< 20 µg CLD/kg				8, 12, 18	
entre 20 et 60 µg CLD/kg				37, 54	
entre 60 et 200 µg CLD/kg		75			132
> LMR (200 µg CLD/kg)					1153, 2370, 494, 858

**Les données obtenues sur les volailles de type « Djem » sont restreintes et incomplètes (notamment sur les œufs) et appellent à une certaine prudence dans l'analyse. Cependant, l'élevage sur un site fortement contaminé (>1 mg CLD/kg de sol) semble aussi pour ce type de volailles entraîner un fort risque de contamination des tissus. Par contre, en dessous de ce seuil, la contamination des tissus de poules « Djem » semble plus élevée que celle de leurs congénères et un peu moins fortement corrélée à celle du site. Il est possible que les spécificités de ce mode d'élevage en quasi-liberté (durée de vie et donc exposition très longue, exploration d'une grande surface avec une contamination en CLD variable, performance de ponte plus modeste entraînant une excrétion restreinte et concentration de la CLD dans une masse corporelle plus faible) réduisent l'impact du sol du site en comparaison avec les souches classiques d'élevage en général confinées sur le site.**

#### IV. CONCLUSIONS GENERALES

Cette étude a démontré que la contamination en chlordécone des denrées produites par des volailles dans les élevages des particuliers dépend avant tout de la contamination du sol du site. Si le sol contient peu de chlordécone (<0,1 mg CLD/kg de sol sec) les produits sont quasiment toujours conformes pour la consommation humaine et *a contrario* si le sol contient 1 mg CLD/kg ou plus, les denrées sont très fortement contaminées (dépassement des LMR) et leur consommation humaine est déconseillée. Dans les classes intermédiaires, il est possible d'obtenir des denrées conformes aux LMR même si les foies et les œufs se contaminent plus facilement que les cuisses et le gras abdominal. Un sol contaminé de manière modeste (0,3 ou au max 0,5 mg/CLD/kg de sol sec), combiné avec des pratiques d'élevage éloignant les oiseaux du sol (un dalle bétonnée en bon état, un parcours spacieux et bien couvert par la végétation) permet de contenir la contamination des cuisses et du gras en dessous des LMR, mais cela n'a que peu d'effet sur les œufs et les foies. Les effets de l'alimentation, de l'abreuvement et de leurs modes de distribution n'ont pas pu être démontrés en raison des faibles variations dans les pratiques d'élevage recensées. L'élevage sur des sites contaminés de manière notable (0,3 à 1 mg CLD/kg de sol sec) a majoritairement conduit à des denrées dépassant plus ou moins fortement les LMR. Par ailleurs, des pratiques d'élevage *a priori* très sécurisantes comme l'élevage en cages suspendues et avec un aliment complet du commerce n'ont pas été relevées par cette enquête, sans doute parce qu'elles ne correspondent pas aux pratiques des particuliers aux Antilles et/ou qu'elles s'avèrent trop coûteuses pour maintenir un minimum d'intérêt économique.

La très bonne corrélation entre les concentrations de la chlordécone dans les différents tissus d'un même oiseau montre la bonne cohérence des résultats obtenus malgré une certaine faiblesse des données sur les œufs. En effet, un certain nombre de poules avaient cessé de pondre au moment des enquêtes, ce qui a réduit le nombre de résultats exploitables. Cette fragilité a été renforcée par une certaine incertitude sur la détermination du taux de ponte des poules prélevées.

Ces données n'ont pas mis en évidence un effet du sexe des oiseaux sur le niveau de contamination, c'est sans doute lié à la faible productivité de la majorité des poules et des coqs avec une croissance achevée. Une analyse des poules « Djem » semble indiquer que ces oiseaux atteignent plus rapidement des contaminations élevées que les oiseaux classiques d'élevage avec cependant une atténuation quand la contamination du sol du site reste modeste.

Le choix orienté des sites d'enquêtes pour établir ce jeu de données ne permet pas – d'une manière quelconque – de comparer les pratiques d'élevage ou les situations de contamination des volailles entre les deux îles.

## V. PERSPECTIVES

Un premier aspect concerne l'utilisation des LMR comme référence pour analyser les concentrations de la chlordécone mesurées dans les denrées prélevées. Il s'agit effectivement d'une référence réglementaire, qui connaît actuellement une divergence entre les textes européens et nationaux, depuis la modification intervenue en mars 2013 de l'annexe I du règlement 396/2005 qui a supprimé la distinction entre les molécules hydrophiles (LMR exprimée pour le produit entier) et les molécules lipophiles, telle la chlordécone (LMR exprimée dans la graisse, donc en fonction du taux de matière grasse s'il s'agit du produit entier). Cependant ce seuil réglementaire n'est pas applicable dans le cas de l'auto-consommation qui est le débouché très majoritaire des volailles des particuliers. Il est très probable que la population consommatrice des produits de ces élevages est potentiellement exposée aussi à la chlordécone via les produits des jardins créoles des particuliers (qui peuvent être installés sur des terres contaminées à un niveau proche de celui du parcours des volailles enquêtées) voire par des produits de la pêche. Ainsi l'application d'un seuil du niveau de la LMR résultant de la modification de l'annexe I du règlement européen intervenue en mars 2013 (soit 200 µg/kg dans le muscle, la graisse ou le foie indifféremment) ne paraît pas protecteur par rapport à l'exposition multiple de la population des auto-consommateurs des produits des jardins antillais.

Les LMR sont d'autre part raisonnées pour un consommateur moyen sans y intégrer que certains sous-groupes de la population sont plus vulnérables, comme les femmes enceintes et les enfants. Déjà étonnantes au regard de la VTR en chlordécone et de la consommation moyenne de volailles par les populations antillaises, les valeurs de LMR exprimées désormais indifféremment pour la graisse ou le produit entier dans le règlement européen paraissent ainsi totalement inadaptées pour assurer la protection des jeunes enfants, quand la VTR chronique journalière est fixée à 0,5 µg/kg de poids corporel. En sus du maintien de valeurs normatives plus sévères (celle de l'arrêté du 30 juin 2008 notamment), et compte tenu de multiples sources d'exposition, des consignes spécifiques pourraient être émises à destination des sous-populations plus vulnérables.

Cependant, une approche utilisant les LMR comme valeur de référence pourrait faire oublier que l'objectif général devrait être d'éviter la contamination des denrées alimentaires en chlordécone, pas seulement de la limiter à un certain seuil. La qualification de certaines denrées comme « conformes » vis-à-vis de la LMR ne correspond pas en effet à une denrée dépourvue de CLD (donc inférieure à la LQ).

Ainsi, la question peut être posée de savoir s'il faut viser à limiter au maximum l'exposition des animaux producteurs de denrées alimentaires. Un tel objectif réduirait grandement l'exposition de tous les consommateurs. Cependant, la proportion non négligeable de sols contaminés en CLD – à des concentrations variables – risque d'exacerber la situation économique fragile des filières antillaises, y compris dans le cas de l'élevage vivrier. Ainsi, l'utilisation des LMR fixées en 2008 comme référence et objectif de qualité à atteindre pour une analyse globale de cette enquête nous semble cohérente tout

en laissant la possibilité d'y ajouter des consignes particulières pour des sous-populations plus vulnérables ou soumises à de multiples sources d'exposition.

Cette étude montre le rôle prépondérant de la contamination du sol sur la contamination de la volaille. Des techniques drastiques permettraient de réduire grandement le contact entre les oiseaux et le sol (cf. conclusions générales). Cependant, même si la réduction du contact entre les oiseaux et le sol restera la piste de travail majoritaire, des pratiques trop puristes/extrêmes semblent décalées par rapport à la réalité des élevages familiaux antillais. Il s'agit donc d'inciter les particuliers à réduire le plus possible le contact avec le sol pollué dans leur élevage et de proposer des pistes de réflexions dans ce sens pour les élevages situés sur des sites dont la contamination du sol est (très) faible.

## **VI. REMERCIEMENTS**

Ce travail a pu être accompli grâce à de nombreuses collaborations que nous tenons à remercier.

Tout d'abord, nous tenons à remercier les Agences Régionales de Santé pour leur confiance à financer ce projet ainsi qu'à la Fredon Martinique, et notamment sa directrice Denise DUFEAL, pour la prise en charge administrative et de la logistique de cette étude.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à Catherine JONDREVILLE de l'Inra et Magalie LESUEUR-JANNOYER du Cirad Martinique pour ses conseils, son appui et son soutien dans ce projet. Nous exprimons une reconnaissance particulière à Célia DIEUDONNE de la Fredon Martinique et à Didier MARIE de l'instance régionale d'éducation et de promotion de la santé (Ireps) Guadeloupe pour la réalisation des enquêtes.

## **VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- Boucher O, Simard MN, Muckle G, Rouget F, Kadhel P, Bataille H, Chakes V, Dallaire R, Montfort C, Thom JP, Multigner L, Cordier S . 2013. Exposure to an organochlorine pesticide (chlordecone) and development of 18-month-old infants. *Neurotoxicology* 35, 162-168.
- Cabidoche Y.-M., Achard R., Cattan P., Clermont-Dauphin C., Massat F., Sansoulet J., 2009. Longterm pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residues. *Environmental Pollution*, 157, 1697-1705.
- Clostre F, Lesueur-Jannoyer M Turpin B., 2011. Impact des modes de préparation des aliments sur l'exposition des consommateurs à la chlordécone. Rapport final projet JAFA. Cirad, mars 2011, 147p + annexes.
- Clostre F, M Lesueur-Jannoyer, R Achard, P Letourmy, Y-M Cabidoche and P Cattan 2013. Decision support tool for soil sampling of heterogeneous pesticide (chlordecone) pollution. *Environmental Science and Pollution Research* 20, 1-13.

- Dallaire R, Muckle G, Rouget F, Kadhel P, Bataille H, Guldner L, 2012. Cognitive, visual, and motor development of 7-month-old Guadeloupean infants exposed to chlordecone. *Environ Res.* 118, 79–85.
- Dubuisson C, He´raud F, Leblanc JC, Gallotti S, Flamand C, Blateau A, 2007. Impact of subsistence production on the management options to reduce the food exposure of the Martinican population to chlordecone. *Regul Toxicol Pharmacol* 49, 5–16.
- Germain K, Letierrier C, Meda B, Jurjanz S, Cabaret J, Lessire M, Jondreville C, Bonneau C and Guéméné D 2013. Elevage de poulet de chair biologique : l'utilisation du parcours influence de nombreux paramètres biotechniques. 10th Journeys of Poultry Research 26-28 March, La Rochelle, France, 211-215.
- Jondreville C, Travel A, Besnard J and Feidt C 2010. Intake of herbage and soil by free-range laying hens offered a complete diet compared to a whole-wheat diet. *Proceedings of the European Poultry Conference, 23-27 August, Tours, France*, 91-95.
- Jondreville C, C Bouveret, M Lesueur-Jannoyer, G Rychen, C Feidt. 2013. Relative bioavailability of tropical volcanic soil-bound chlordecone in laying hens (*Gallus domesticus*). *Environmental Science and Pollution Research* 20, 292-299.
- Jondreville C, Lavigne A., Jurjanz S, Dalibard C, Liabeuf JM, Clostre F, Lesueur-Jannoyer M. 2014. Contamination of free-range ducks by chlordecone in Martinique (French West Indies): a field study. *Science of the Total Environment* 493, 336-341.
- Lesueur-Jannoyer M, P Cattan, D Monti, C Saison, M Voltz, T Woignier, and Y-M Cabidoche 2012. Chlordécone aux Antilles : évolution des systèmes de culture et leur incidence sur la dispersion de la pollution. *Agron Environ Soc* 2 (1), 45-58.
- Levillain J, Cattan P, Colin F, Voltz M, Cabidoche Y-M, 2012. Analysis of environmental and farming factors of soil contamination by a persistent organic pollutant, chlordecone, in a banana production area of French West Indies. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 159(0), 123-132.
- Multigner L, Ndong JR, Giusti A, Romana M, Delacroix-Maillard H, Cordier S, 2010. Chlordecone exposure and risk of prostate cancer. *J Clin Oncol* 28, 3457–3462.
- Nys Y, Bain M, van Immerseel F 2011. Improving the safety and quality of eggs and egg products. Ed Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp 602.
- Vincent J, D Camy, G Thalmensi, M Julien, M Ledrans, P Quénel, A Blateau, and E Godard, 2011. Le programme de santé des jardins familiaux en Martinique. *Environnement Risque Santé* 10 (5), 395-403
- Waegeneers N, De Steur H, De Temmerman L, van Steenwinkel S, Gellynck X and Viaene J 2009. Transfer of soil contaminants to home-produced eggs and preventive measures to reduce contamination. *The Sciences of the Total Environment* 407, 4438-4446.
- Woignier T, F Clostre, H Macarie and M Jannoyer 2012. Chlordecone retention in the fractal structure of volcanic clay. *Journal of Hazardous Materials* 241–242, 224-230.