



Copil local chlordécone

6 mai 2019

Thématique : Recherche

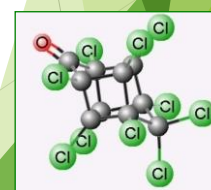
Recueil des présentations

Sommaire

Vers un zéro chlordécone dans les fruits et légumes ?	3
Pratiques agricoles et contamination des eaux terrestres par les pesticides à l'échelle du bassin versant du Galion	9
Recherches sur la dépollution des sols.....	14
Contamination de la faune aquatique marine : état des connaissances et recherches en cours	22
Exposition alimentaire à la chlordécone déterminée par épidémiologie des eaux usées.....	26

Vers un zéro chlordécone dans les fruits et légumes ?

Magalie Lesueur Jannoyer, Florence Clostre, Philippe Letourmy, Céline Carles, Jean-Marie Gaude, Stéphane Michel



Des F&L conformes à la LMR en vigueur

- ▶ Résultats diffusés largement et publiés en 2016 (Clostre et al, Env. Pol. 2017)
- ▶ À partir de très nombreuses mesures sol/plante
 - ▶ Élaboration d'un modèle de transfert
 - ▶ Mise en évidence de différentes réponses des plantes cultivées
 - ▶ Traduction en un outil d'aide à la décision pour la conformité des produits végétaux

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + (\alpha\delta)_{ij} + (\alpha\beta)_{ik} + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + \gamma * X_{ijkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Ln CLD_{veg}

Effet groupe

Effet type de veg / groupe

Effet type de sol / groupe

Interaction sol x veg / groupe

Ln CLD_{sol}

Erreur résiduelle

Traduit la proportionnalité entre teneur sol / teneur plante



Le calcul des LM_{sol} qui garantissent la conformité des produits végétaux

Proportionnalité
(transfert max)
[chld]_{sol} et [chld]_{culture}

↓

Traduction de la LMR en [chld]_{sol max}
(=LM sol)

↓

Risque potentiel de la contamination de la culture au-delà de la LM sol

Clostre et al. Environn

Les résultats de LM_{sol} pour LMR = 20µg/kg MF

► 3 catégories de végétaux:

Productions sensibles (racines et tubercules)	Productions intermédiaires (cucurbitacées et laitues)	Productions non sensibles (fruits et solanacées)
0,1 mg/kg SS	1 mg/ kg SS	Quelle que soit la valeur dans le sol

Pas de proportionnalité entre teneur sol / teneur plante

Précision 5%

L'abaissement des limites souhaitées impose un nouveau calcul des LM_{sol}

Proportionnalité
(transfert max)
[chld]_{sol} et [chld]_{culture}

↓

Traduction de la LMR en [chld]_{sol max}
(=LM sol)

↓

Baisse de la LM_{sol} en fonction des types de productions végétales

Les résultats pour valeur max dans les végétaux de 5 µg/kg MF

- ▶ 3 catégories de végétaux (les laitues changent)
- ▶ Fort effet sol: risque nitisol > ferralsol > andosol

Non pollué	0,1	0,1
Productions sensibles (racines et tubercules; laitues)	Productions intermédiaires (cucurbitacées)	Productions non sensibles (fruits et solanacées)
0,002 mg/kg SS = Sur sol non pollué	0,1 mg/ kg SS	Quelle que soit la valeur dans le sol*

* Majorité des valeurs < 5 µg/kg MF

Les limites de l'exercice

- ▶ Pour les **productions sensibles**, peu de valeurs < 5 µg/kg MF (d'où le choix de cette valeur pour le calcul)
 - ↳ puissance des calculs limitée
- ▶ Pour la catégorie **productions non sensibles**, pas de changement
 - ▶ Pas de proportionnalité pour réaliser le calcul
 - ▶ Majorité des valeurs surestimées pour maximiser le risque: fixées à 1/3 LQ (0,3 µg/kg MF) lorsque « non détection » (et non 0)
 - ▶ Très peu de valeurs > 5 µg/kg MF

Quelques remarques

- ▶ La mesure du **zéro** est **délicate** et liée aux techniques et à la précision des **méthodes analytiques (précaution de prélèvement pour éviter les faux positifs)**
- ▶ On pourrait affiner en fonction des **types de sol** et des cultures mais:
 - ▶ on aboutit à des **recommandations plus complexes** pour les agriculteurs
 - ▶ La détermination du type de sol n'est pas si aisée car il existe des **zones de transition...**
 - ↳ on maximise le risque avec la valeur la plus faible, pour tous les sols
- ▶ Associer « Zéro CLD » à des pratiques agro-écologiques pour **limiter l'exposition des populations à tous les pesticides**
 - ▶ Préserver les parcelles non polluées (en évitant l'usage de pesticides)

Pour végétaux < LMR 20 µg/kg MF	Groupe de végétaux	Type de sol	Calcul LM _{sol} (mg/kg SS)	Pour végétaux < 5 µg/kg MF	Groupe de végétaux	Type de sol	Calcul LM _{sol} (mg/kg SS)
	Productions intermédiaires				Productions intermédiaires		
	Concombre	Andosol	12,10		Concombre	Andosol	0,80
	Concombre	Ferralsol	7,00		Concombre	Ferralsol	0,39
	Concombre	Nitisol	1,99		Concombre	Nitisol	0,12
	Laitue	Andosol	26,4		Laitue	Andosol	2,69
	Laitue	nitisol	0,98		Laitue	Nitisol	0,04
	Giraumon	Andosol	2,91		Giraumon	Andosol	0,16
	Giraumon	Ferralsol	1,84		Giraumon	Ferralsol	0,08
Productions sensibles				Productions sensibles			
	Dachine	Andosol	0,19		Dachine	Andosol	0,022
	Dachine	Ferralsol	0,03		Dachine	Ferralsol	0,003
	Dachine	nitisol	0,02		Dachine	nitisol	0,002
	Radis	Andosol	0,18		Radis	Andosol	0,023
	Radis	nitisol	0,28		Radis	nitisol	0,036
	Patate douce	Andosol	1,03		Patate douce	Andosol	0,124
	Patate douce	Ferralsol	0,25		Patate douce	Ferralsol	0,031
	Patate douce	nitisol	0,22		Patate douce	nitisol	0,024
	Igname	Andosol	1,72		Igname	Andosol	0,213
	Igname	Ferralsol	0,34		Igname	Ferralsol	0,042
	Igname	nitisol	0,14		Igname	nitisol	0,016

Merci de votre attention

Résultats obtenus avec le soutien de:

Plan
chlordécone

ars
Agence Régionale de Santé
Martinique

jafa

Région Martinique

l'Europe
s'engage
en Martinique
avec le FEDER

Collectivité
Territoriale
de Martinique

CAEC
Compus Agro-Environnemental
Caraïbe

cirad

Les références



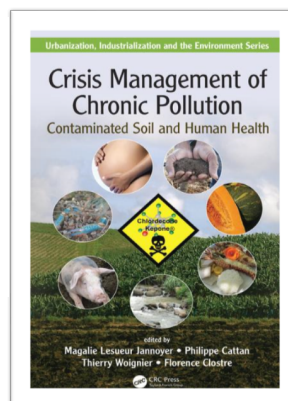
Soil thresholds and a decision tool to manage food safety of crops grown in chlordecone polluted soil in the French West Indies²

Florence Clostre ^{a, *}, Philippe Letourmy ^b, Magalie Lesueur-Jannoyer ^{a, c}

^a Cirad, UPR Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles (HortSys), F-97285, Le Lamentin, Martinique, France

^b Cirad, UPR Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles (Aida), F-34398 Montpellier, France

^c Cirad UR HortSys, F-34398 Montpellier, France



Pratiques agricoles et contamination des eaux terrestres par les pesticides à l'échelle du bassin versant du

Galion



Comité de pilotage - Chlordécone
06 mai 2019
Martinique



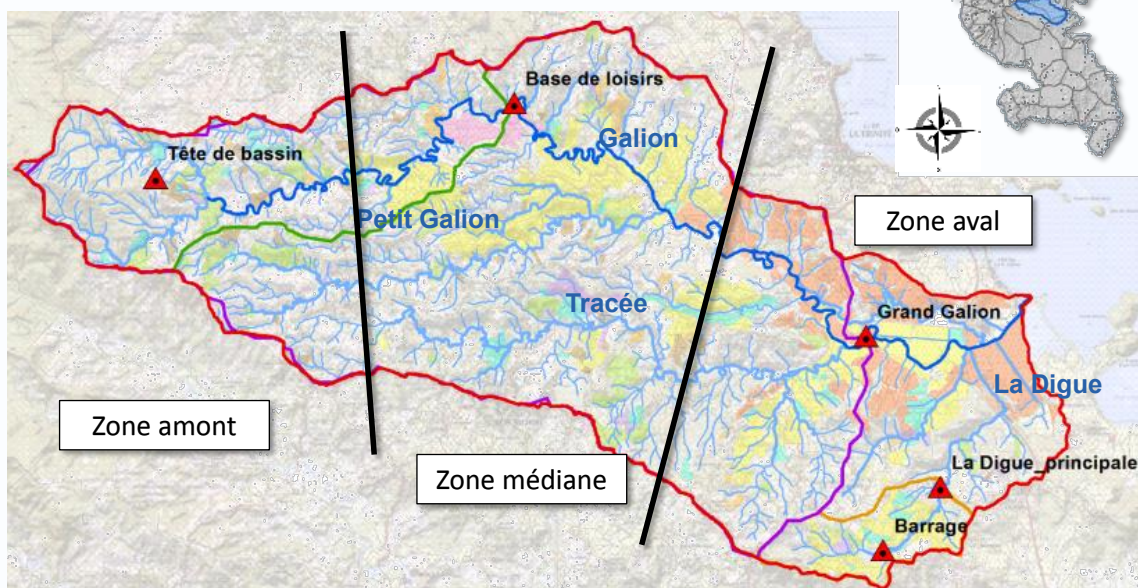
Charles MOTTES*, Landry DEFFONTAINES, Jean Baptiste CHARLIER, Irina COMTE, Pauline DELLA ROSSA, Magalie LESUEUR-JANNOYER, Thierry WOIGNIER, Georges ADELE, Anne-Lise TAILAME, Marianne LE BAIL, Luc ARNAUD, Joanne PLET, Luc RANGON, Jean-Pierre BRICQUET, Philippe CATTAN.

* charles.mottes@cirad.fr

DESCRIPTION DU DISPOSITIF



Le bassin versant du Galion



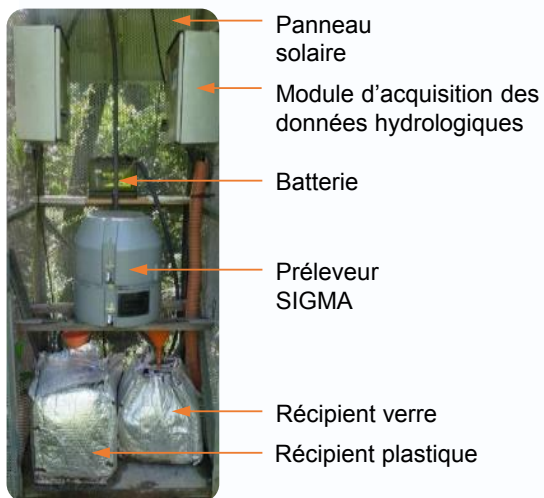
Cours d'eau : — Intermittent — Permanent
Rivière Galion

 Banane créole	 Jachère
 Banane export	 Légumes
 Canne à sucre	 Surface en herbe
 Horticulture	 Vergers

45km²
~160 exploitations
agricoles

DESCRIPTION DU DISPOSITIF

Instrumentation des stations et méthode de prélèvement



200 mL toutes les 1h15

1 échantillon composite par semaine

476 pesticides recherchés par le LDA26

Compréhension des pratiques agricoles

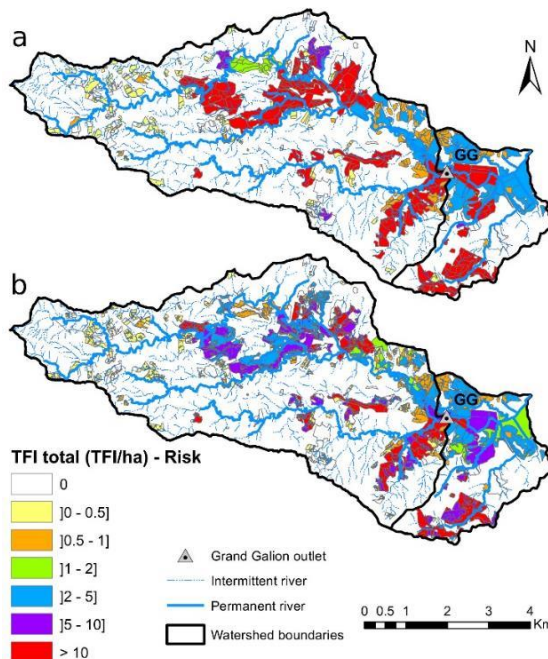
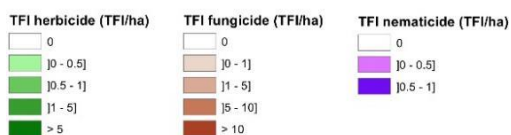
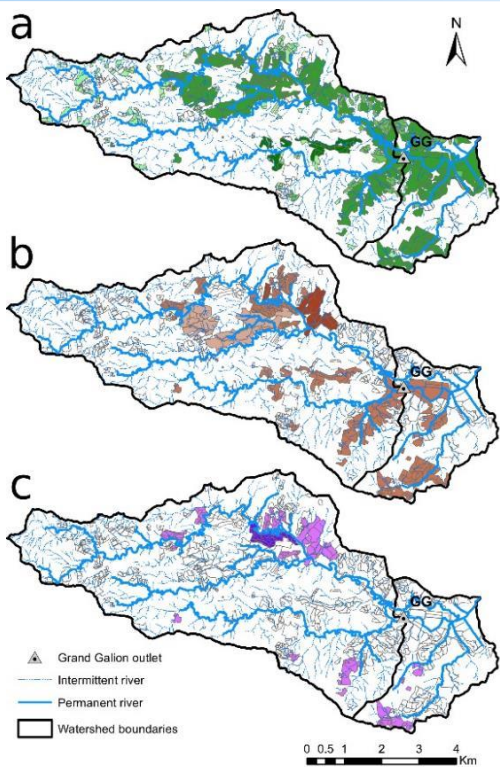


Enquêtes dans les exploitations



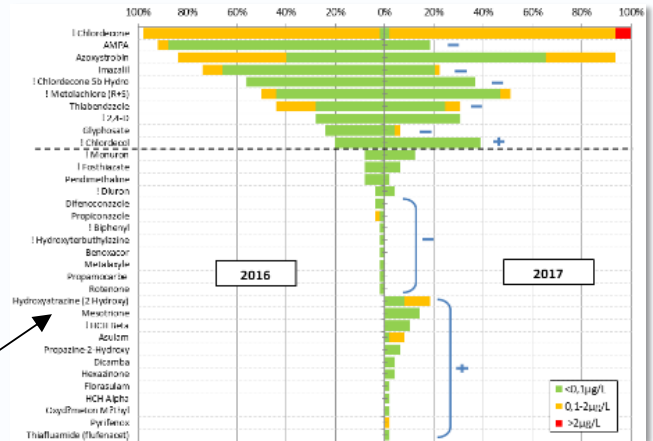
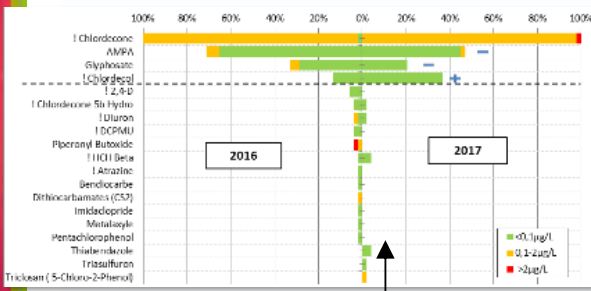
Analyses de sols

UTILISATION DES PESTICIDES SUR LE BASSIN



Indice de Fréquence de Traitement : IFT

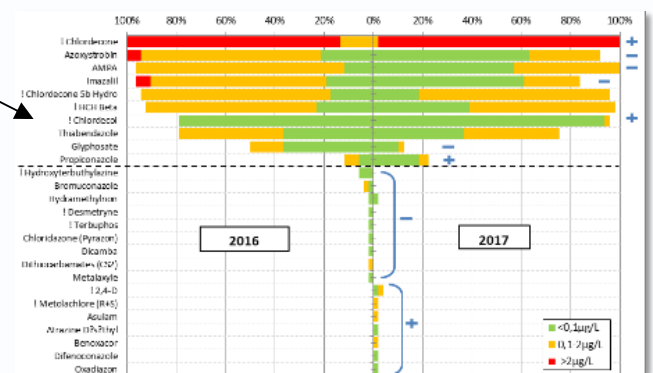
RÉSULTATS



51 molécules retrouvées
Contamination **LD > GG > BDL**

3 types de contaminations chroniques :

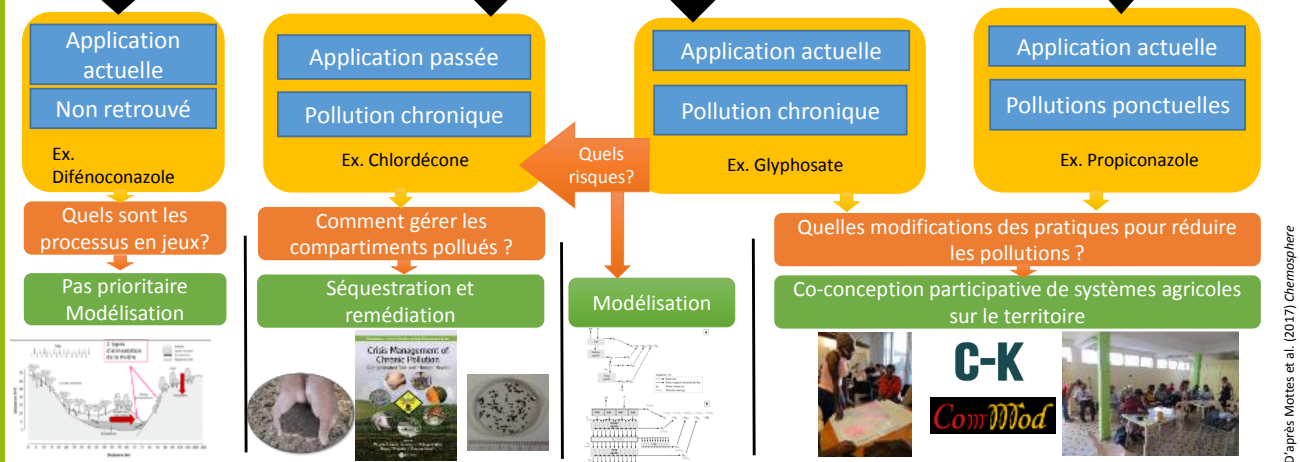
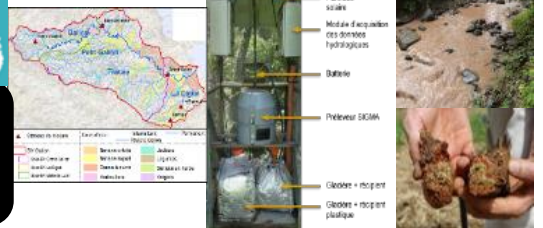
- Pollutions historiques
- Herbicides
- Fongicides post-récoltes de la banane



Deffontaines & Mottes (2018) – ODE – PNAC

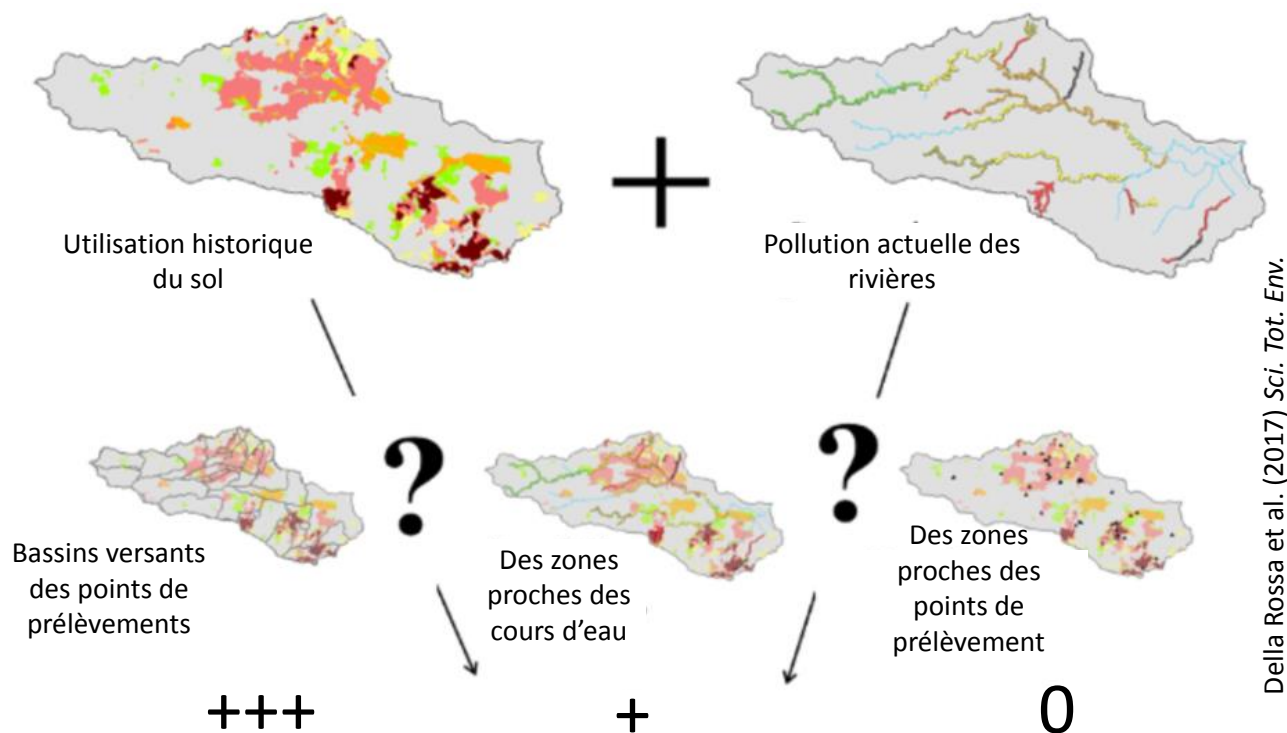
QUELLES STRATÉGIES POUR QUELLES POLLUTIONS ?

Question appliquée de la recherche : que deviennent les pesticides utilisés en agriculture ?



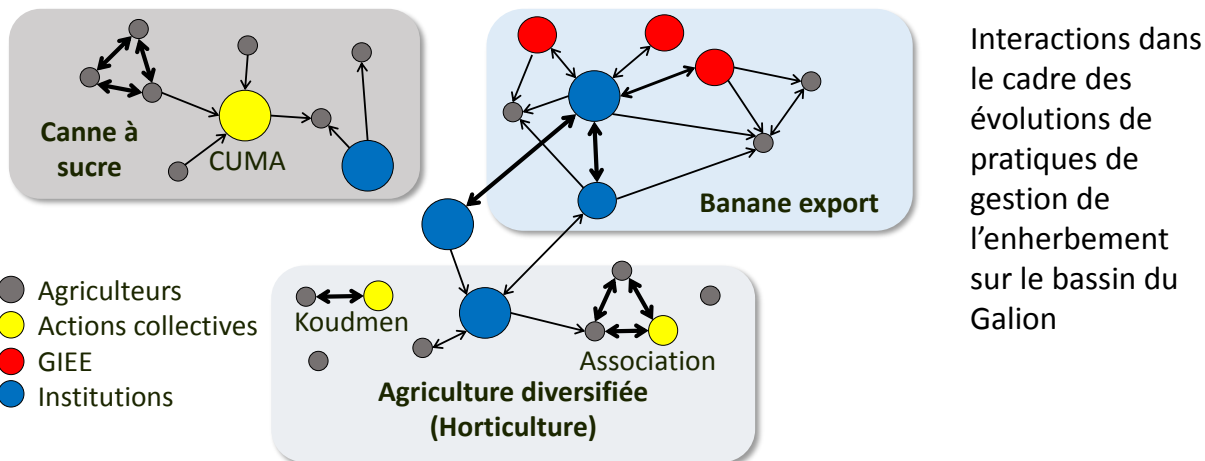
D'après Mottes et al. (2017) Chemosphere

D'OÙ PROVIENNENT LES POLLUTIONS CHRONIQUES ?



Il est nécessaire d'agir sur l'ensemble du bassin versant pour réduire les pollutions à l'exutoire.

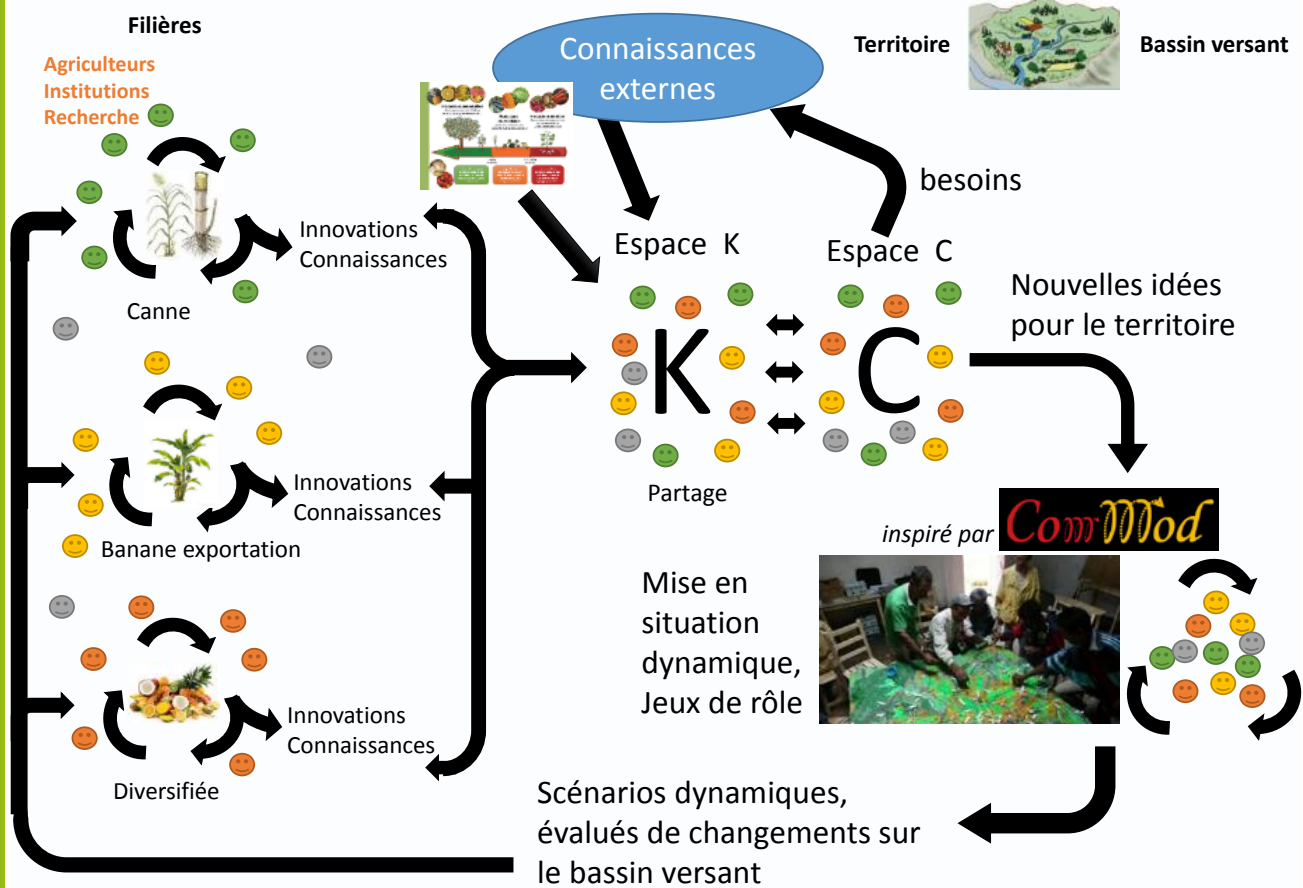
RÉSEAU MOBILISÉ PAR LES AGRICULTEUR POUR LE CHANGEMENT



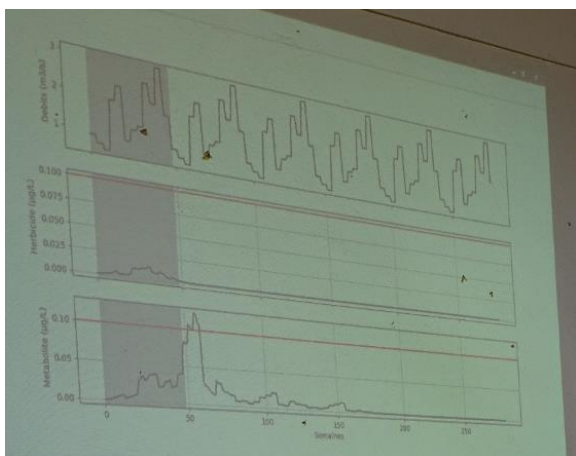
- Mutualisation d'une ressource entre agriculteurs sans compétition pour cette ressource : moteur pour les échanges et les dynamiques de changement.

Recréer du lien entre les différents réseaux qui parlent de changements des pratiques

Conception participative

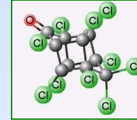


Doctorat Della Rossa



Pollution des sols par la Chloredecone:
Les différents axes de recherche à l'IRD Martinique (IMBE/CAEC)

Thierry Woignier Directeur de Recherche (CNRS/IRD)



- Acquérir des connaissances de base à différentes échelles, de la structure du sol à la parcelle.
- Proposer des solutions de remédiation à la pollution et des mesures de gestion adaptées aux sols, aux plantes cultivées et à la ressource en eau.

4 sujets d'études:

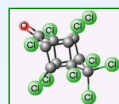
- 1) La biodégradation (IRD Marseille H.Macarie et CNRS Paris)
- 2) La technique ISCR (BRGM) par ajout de Fe métallique.
- 3) Contamination des sols et confinement naturel de la CLD.
- 4) Séquestration de CLD: une alternative à la dépollution

1) Bioremédiation des sols contaminés par la Chlordécone au moyen de bactéries ferri-réductrices (coll. IRD Marseille)

Thèse JP Andraud , Dir. de thèse hervé Macarie IMBE IRD

2) Bioremédiation par l'utilisation de bactéries coll.CNRS Saclay

Le CNRS (Paris Saclay) a obtenu plusieurs consortia bactériens capables de transformer la chlordécone en conditions sans oxygène et réductrices (bactéries du genre *Citrobacter*). 3 familles de chlordecone transformée ont été décrites. → ayant perdu jusqu'à 7 des 10 chlores de la CLD) → ils contiennent un noyau attestant de **l'ouverture de la « cage » de la CLD.**



Ces composés ont été récemment mis en évidence dans des échantillons de sols et eaux de la Martinique démontrant dans ces milieux l'existence d'une **dégradation naturelle de la CLD.**

→ Pourquoi les sols sont ils encore fortement contaminés après 30 ans ?

2) Procédé ISCR pour la remédiation des sols contaminés

(coll. C. Mouvet (BRGM Orléans,))

ISCR (In Situ Chemical Reaction).

L'étude menée sur des sols antillais traités par l'ISCR (ajout de poudre de fer zérovalent) confirment une diminution de la chlordécone (22-70%) et l'apparition de produits de dégradation.

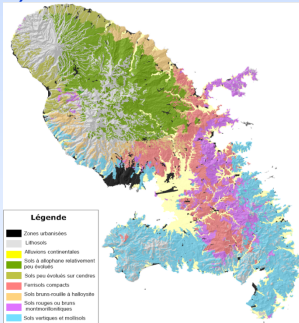
Les mécanismes impliqués : potentiel d'oxydo-réduction très négatifs suite à l'ajout de Fe^0 , déchloration en phase sans oxygène (anaérobie)

Difficulté technique au champ des conditions « sans oxygène » (terrain plat et inondé ou terrain fortement tassé après ajout du Fe).

Résultats intéressants :

Taux de dégradation entre 22-70% mais sont différents suivant le type de sol: 70% pour nitisol et ferrasol, 22 % pour andosols (type d'argile ?).

3) Confinement naturel de la CHLD dans les sols Coll. M. Jeannoyer



Andosol (mg/Kg)	Ferralsol (mg/Kg)	Nitisol (mg/Kg)
4.7	2.2	0.8
10.8	2.3	0.7
9.5	2.4	2.6

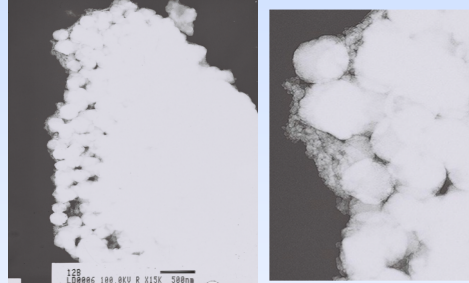
les andosols représentent ≈ 50% de sols pollués

Plante cultivée	Transfert sol -plante dans les nitisols (%)	Transfert sol -plante dans les andosols (%)
Laitue	6	2
Concombre	8	3
Papate douce	18	12
igname	42	11
dachine	100	21

Paradoxe: les andosols sont des sols fortement pollués mais faiblement contaminés
→ Nature de l'argile ?

argile classique plaquettes 500-1000 nm

argile andosols sphère 5-200 nm

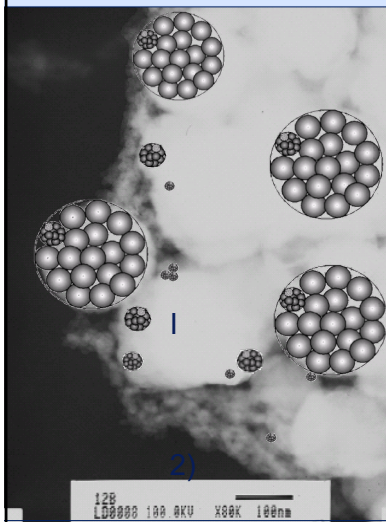


Microstructure poreuse 5 et 200 nm

Type de sol	Concentration CLD mg/ Kg sol fraction c	Concentration CLD mg/ Kg sol fraction b	Concentration CLD mg/ Kg sol fraction a
andosols	10.25	2.14	1.16
Nitisols	0.95	0.99	0.66
ferralsols	0.88	0.803	0.53

Fraction a : 200-2000 μm ; fraction b : 50-200 μm ; **fraction c : 0-50 μm**

Modèle de structure labyrinthe des argiles



Perméabilité K et Diffusion D_i diminuent d'un facteur 1000 à l'intérieur des argiles

labyrinthes: piègeage \rightarrow pas accessibilité et difficulté d'extraction de la CHLD.

Andosols: limite physique aux procédés d'extraction (\leq microns)

- 1) ISCR peu efficace car particules de Fer $50 \geq$ microns
- 2) Bactéries ont des tailles \geq 1-2microns

\rightarrow alternative à la décontamination: la Séquestration

2) Séquestration de la chlordecone dans les sols (P. Fernandes – Cirad)

- 1) limite physique à ISCR et bio dégradation,
- 2) Confinement → moins de diffusion dans l'environnement.

Pourquoi pas un confinement forcé: **la séquestration?**

- Grande affinité de la CHLD pour la matière organique.

Objectif : Accroître la capacité de confinement de la chlordecone dans des sols pollués en modifiant leur concentration en matière organique → ajout de compost (MO1 et MO2)

Caractérisation de l'effet de séquestration

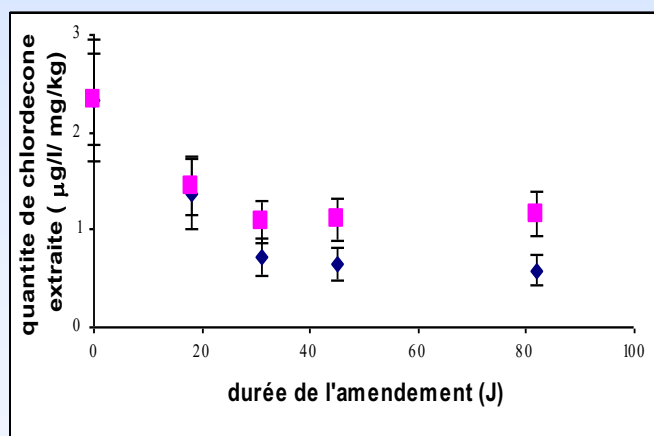
- Test de lixiviation (cylindres de sol de 5 cm-eau)
- Transferts sol-plantes (radis)

→ Essais au champ
(radis, laitues, concombres)



Séquestration de la chlordecone dans les sols: (L Rangan IRD CAEC)

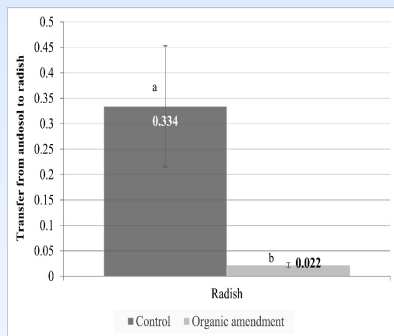
Le transfert de la chlordecone du sol vers l'eau est fortement réduit
(**5 fois plus faible**) après ajout de matières organiques .



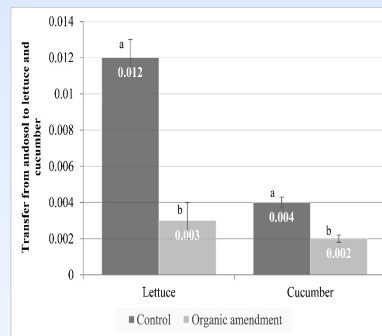
Confinement forcé de la chlordecone dans les sols
06/05/2019

Ajout de compost dans les sols - L. Rangon IRD CAEC

radis



laitues et concombres



- **Le transfert de la chlordécone du sol vers les cultures est fortement réduit après ajout de matières organiques.**

06/05/2019

Conclusion

Les techniques de remédiation connues ISCR ou a dégradation par des microorganismes sont intéressantes et montrent des résultats intéressants (22 - 70% de décontamination par ISCR).

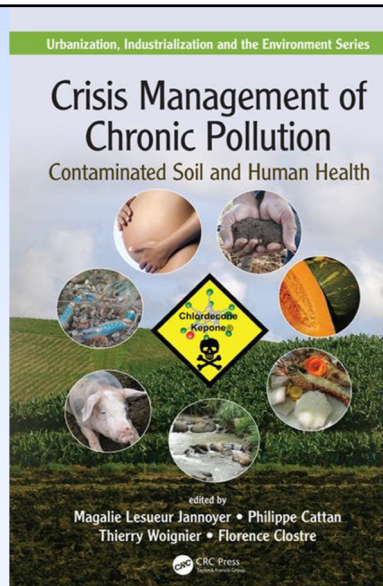
Cependant, l'approche physique démontre que les argiles volcaniques sont capables de piéger à long terme la chlordécone et ses caractéristiques de piégeage nous ont conduit à :

- 1) Poser la question de l'accessibilité de la chlordécone présente dans les andosols à d'éventuelles techniques de décontamination,
- 2) conclure que pour les andosols (**50 % des sols pollués**) il sera **physiquement pratiquement impossible de décontaminer par ISCR ou utilisation de bactéries.**
- 3) Proposer une alternative à la décontamination: la séquestration accrue de la CHLD dans les sols, par l'ajout de MO. Nous montrons que l'ajout de matières organiques dans les sols **diminue notablement le transfert sol /legume et sol/eau** (facteur 3 à 10) → Biochars (Valecom Martinique) .

Il n'existera pas une solution unique à la décontamination des sols mais des solutions de gestion: ISCR, bactéries, séquestration (autres?) adaptées à la nature du sol et à leur propriétés physiques d'accessibilité.

<https://www.crcpress.com/Crisis-Management-of-Chronic-Pollution-Contaminated-Soil-and-Human-Health/Jannoyer-Cattan-Woignier-Clostre/p/book/9781498737838>

**Ouvrage faisant le bilan de 10 ans de recherche sur le sujet Chlordecone aux Antilles.
(IRD, Cirad CNRS, BRGM, INRA, ODE, U.A., ARS, ANSES, INSERM, IFREMER,...)
Parution Octobre 2016**





Projet Rivage

Atelier 3 Remédiation – Tache 2 REM.BAC

Biodégradation Bactérienne de la chlordécone

Jean-Pascal ANDRAUD, Luc Rangon, Thierry WOIGNIER et Hervé MACARIE



Dépollution au moyen de bactéries réductrices du fer autochtones

- a. La méthode Fe^0 (ISCR) efficace mais coût élevé (19 €/m² dont 17 €/m² = Fe^0 importé)
- b. Utilisation du Fer déjà présent dans les sols (7-11% du poids sec = Fer)
 - > problème : inactif contre la CLD sous la forme oxydé où il se trouve
- c. Solution :
 - réduction du Fer sous l'action de bactéries déjà présentes dans les sols
- d. Résultat attendu :
 - transformation de la CLD en produits ayant perdu des chlores comme avec le Fe^0 .
- e. Problème : vérification de la non toxicité des nouveaux produits obtenus

Dépollution via anaérobiose (travaux de plusieurs groupes, Genoscope, UA, IRD, etc)

a. Une fois mis en anaérobiose (absence d'oxygène), les sols antillais présentent la capacité de dégrader de la CLD **rajoutée** en une foule de produits déchlorés

Cela signifie que des microorganismes anaérobies capables de la dégrader sont naturellement présents dans les sols

b. Les mêmes produits de dégradation sont détectables dans les sols antillais **historiquement contaminés** par la CLD

---> processus de dégradation déjà en cours

---> probablement à très faible vitesse vu que la plus grande partie du sol est oxygénée

c. C'est un résultat majeur!!!!

d. Défis:

Trouver les moyens techniques pour rendre les sols anoxiques (sans oxygène)

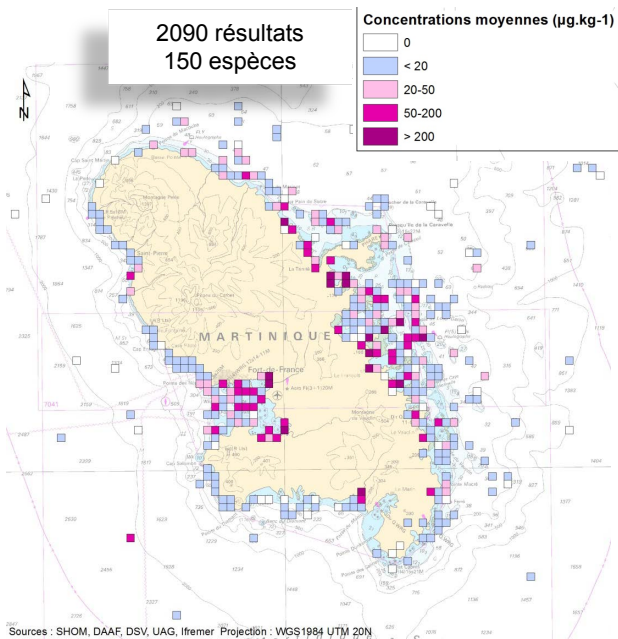
Pourra t'on faire cela à un coût raisonnable?

Est ce que les produits formés sans oxygène seront plus facilement dégradables après avoir réoxygéné les sols par labours pour arriver à une dégradation complète en produits minéraux (CO₂, H₂O, Cl⁻) et ainsi éviter l'accumulation de produits toxiques ?

Contamination de la faune aquatique marine : état des connaissances et recherches en cours

1

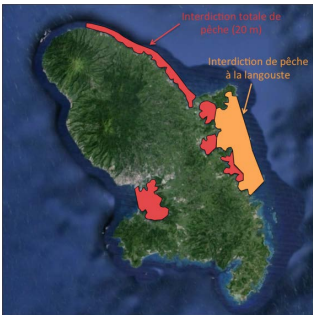
Etat des connaissances : 1. cartographie de la contamination



Bonne connaissance de la contamination de la faune marine par la chlordécone

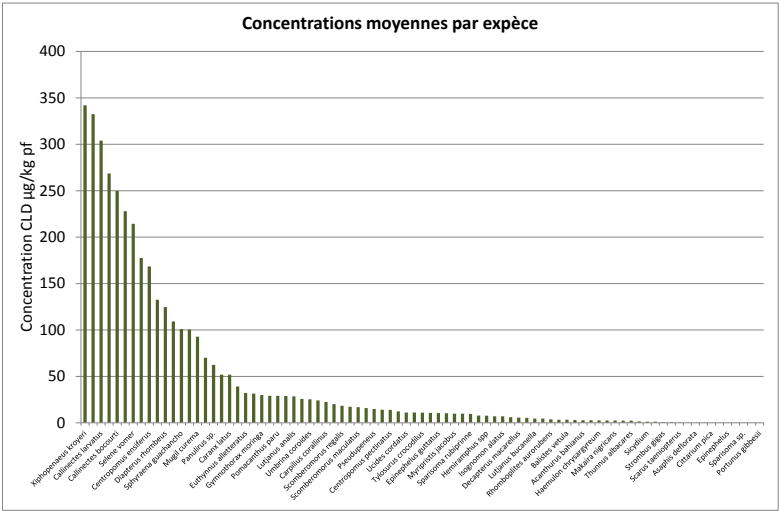


Réglementation pêche



Etat des connaissances :
2. variabilité entre les espèces

Très forte variabilité de la contamination entre les espèces (régime alimentaire, niveau trophique, lieux et mode de vie)



Très forte variabilité entre :

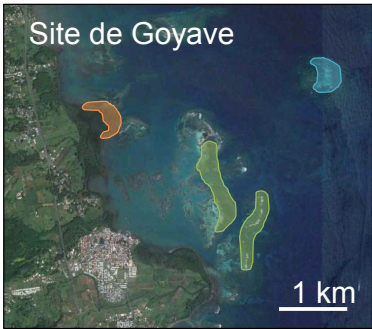
1 - les **zones** (apports terrestres de CLD, hydrodynamisme, courantologie)

2 - entre les **espèces** marines et au sein d'une même espèce

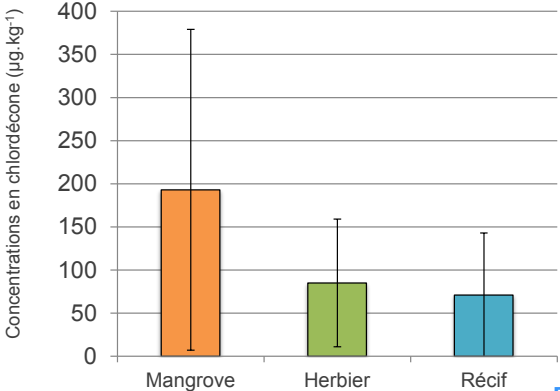


Difficultés pour fixer des limites d'extension de la contamination en mer

Etat des connaissances :
3. Voies de contamination



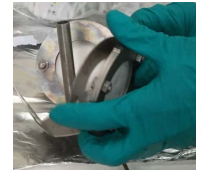
La contamination moyenne des organismes marins décroît avec la distance à la côte.



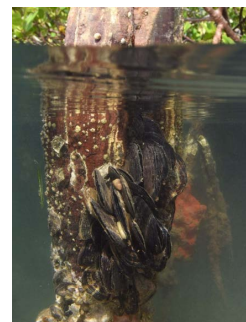
- 1) Sur les sites d'herbier et de récif, le niveau de contamination des organismes marins augmente avec le niveau trophique : **contamination par voie trophique** (consommation de proies contaminées).
- 2) Sur les sites de mangrove, l'ensemble du réseau trophique affiche des concentrations importantes, quelque soit le niveau trophique : prépondérance de **la contamination par « Bain »**

Objectifs : améliorer les connaissances sur le transfert de la contamination du milieu terrestre (bassin versants) vers le milieu marin (eau, sédiment, chaîne trophique)

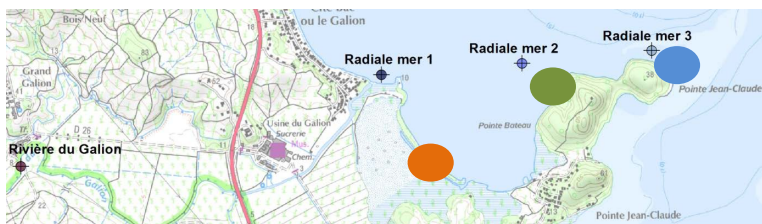
Axe 1 : Développement et validation d'une méthode opérationnelle pour le dosage de la chlordécone dans l'eau (rivières et eaux littorales) par échantillonneurs passifs (POCIS, SBSE). → Abaissement des seuils de quantification



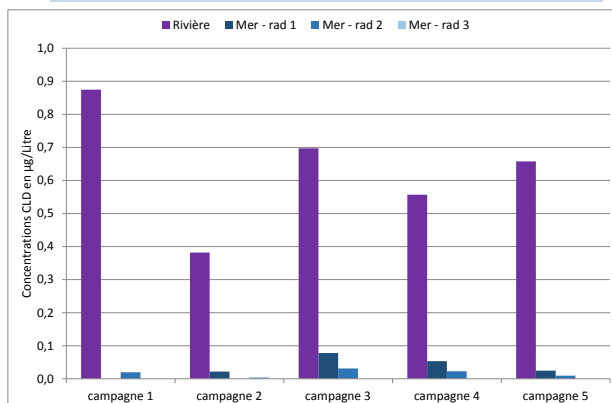
Axe 2 : Réalisation d'analyses concomitantes de chlordécone dans l'eau de mer et dans les organismes de trois types d'écosystème (mangrove, herbiers, récifs coralliens) de niveaux trophiques différents.



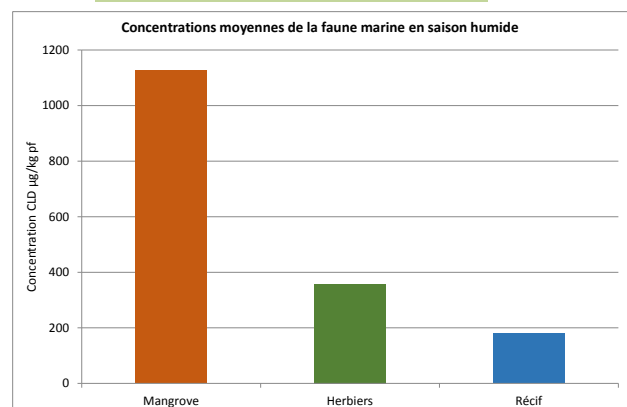
Premiers résultats...



Eau (EPI, concentrations moyennes sur trois semaines)



Faune (saison humide, octobre 2018)



- Résultats prometteurs avec EPI
- Concentrations moyennes élevées, en rivière et en mer, relativement stables sur les 5 premières campagnes

Gradient de contamination marqué entre les trois écosystèmes

Résultats attendus

- Connaissances sur la distribution des concentrations en mer en fonction des apports terrestres et des phénomènes de dilution/dispersion (suivi annuel/17 campagnes).
- Consolider les connaissances sur les voies de contamination de la faune marine : saisonnalité (saison sèche/saison humide), confirmation de la contamination par bain ou bioamplification dans le cadre d'une baie semi-fermée

Pistes de recherche

- Mise en œuvre d'un modèle hydrodynamique pour améliorer les connaissances sur le transfert de la chlordécone en mer
- Poursuite études de décontamination (langoustes,...)
-



ODYSSI



O.D.E
Office De l'Eau Martinique



ars
Agence Régionale de Santé
Martinique

EXPOSITION ALIMENTAIRE À LA CHLORDECONE DÉTERMINÉE PAR ÉPIDÉMIOLOGIE DES EAUX USÉES

Damien A. DEVAULT(1), Laurence AMALRIC(2), Sébastien BRISTEAU(2)


→


↓






ÉPIDÉMIOLOGIE DES EAUX USÉES

Domestique
Professionnel

WC
bain, douche
Elimination impropre

- L'exposition des populations implique la métabolisation des micropolluants (« biomarqueurs ») puis leur excrétion dans des proportions connues (U_{ex})

Quelles applications ?

- Outil d'évaluation de la consommation involontaire
- Outil d'évaluation de la consommation des marchés clandestins
- Outil d'évaluation globale de la santé de la population raccordée

Reconstituer la consommation de drogue sur la base des traceurs chimiques dans les eaux usées

$$Q = Q_{\text{day}}/U_{\text{ex}} \times M_{\text{ratio}} \times 1000/N_{\text{inh}}$$

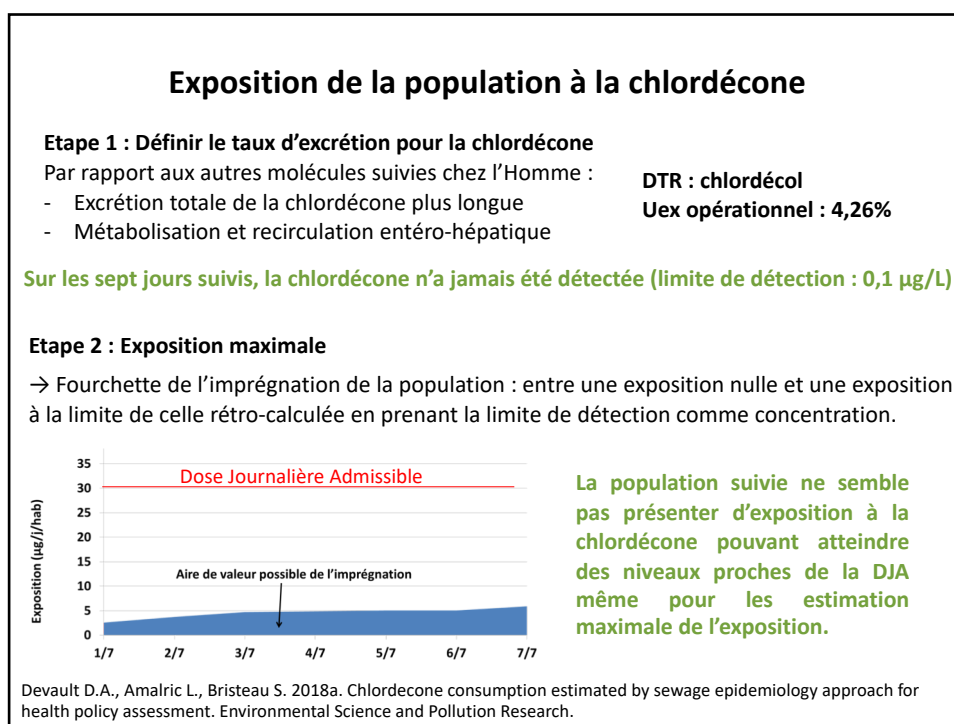
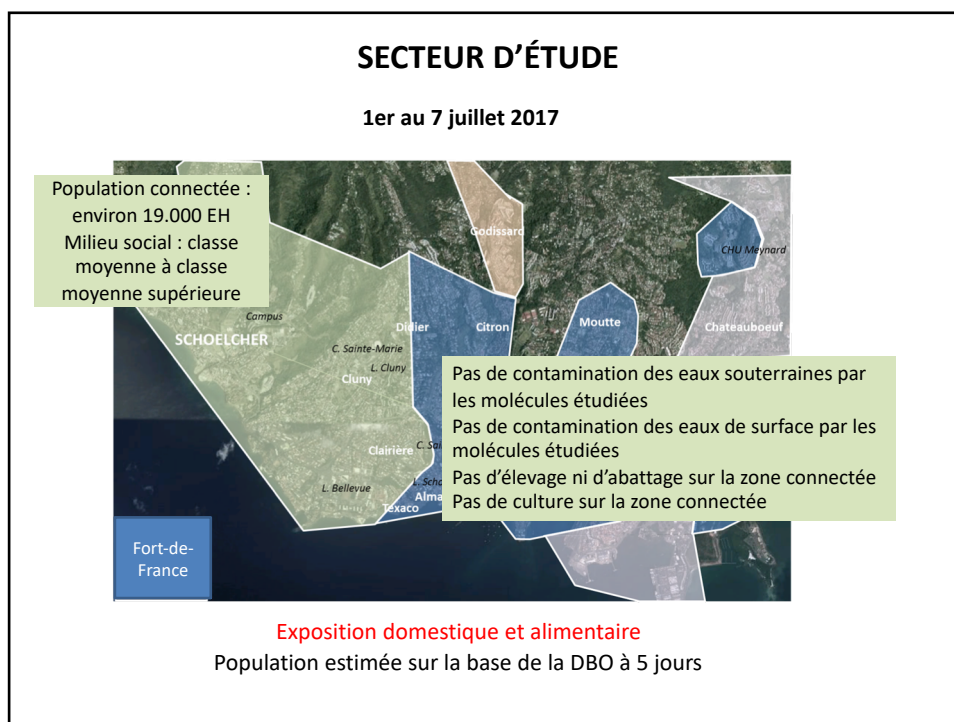
Flux journalier
de traceur

Taux d'excrétion

rapport
DTR/drogue parente

Population
d'usagers

DTR: Drug Target Residue



Merci de votre attention !

