



COLLOQUE SCIENTIFIQUE

Chlordécone

COMPRENDRE & AGIR



ORGANISÉ PAR
LE **COMITÉ DE PILOTAGE
SCIENTIFIQUE NATIONAL**

AVEC LE SOUTIEN DU


**PRÉFET
DE LA
MARTINIQUE**
*Liberté
Égalité
Fraternité*



23 · 24 · 25
Juin 2026

Université des Antilles, Martinique

ACTES DU COLLOQUE

➤ **Actes du colloque scientifique « Chlordécone, comprendre et agir »**

Recueil des résumés des communications présentées lors du colloque « Chlordécone, comprendre et agir » qui s'est tenu du 23 au 25 juin 2026, à l'Université des Antilles (Schoelcher, Martinique).

Pour citer ce document :

CPSN, 2026. Actes du colloque scientifique « Chlordécone, comprendre et agir ». Schoelcher, Martinique, 23-25 juin 2026.

En complément, sont également accessibles sur le site <https://www.chlordecone-info.fr/> les présentations et les posters (.pdf) ainsi que les liens pour l'accès aux vidéos du colloque, dans l'espace « portail scientifique ».

Table des matières

Préambule - contexte, objectifs et temps forts du colloque « Chlordécone, comprendre et agir »	7
Comité scientifique et comité d'organisation	10
PARTIE 1 - CONFÉRENCES ET COMMUNICATIONS ORALES.....	11
Conférence introductive du colloque	
Chlordécone : Une lecture One Health d'un socio-écosystème durablement transformé – N. Duracka.....	12
SESSION 1 - LA CONTAMINATION : MILIEUX, CHAÎNES ALIMENTAIRES ET EXPOSITIONS	14
Données et Observatoire OPALE : état des lieux depuis 2022, enjeux et perspectives – P.Benoit.....	14
Conférence introductive de la session 1	
La mesure au cœur de la problématique chlordécone : enjeux et avancées – M. Saint-Hilaire	15
Développement d'une méthode de type QuEChERS-LC-MS/MS pour analyser la chlordécone et trois de ses produits de transformations pour les sols antillais – Saint-Hilaire et al.	18
Évolution spatio-temporelle de la CLD dans les sols par une approche bayésienne - valorisation de la cartographie des sols Martiniquais – Lavarenne et al.	20
Etude du transfert potentiel de chlordécone de parcelles à parcelles par ruissellement et érosion – Allongout et al.	22
Contamination des milieux naturels par la chlordécone : suivis à long-terme dans le cadre d'OPALE – Dromard et al.	24
Transfert transgénérationnel : caractérisation des voies d'excrétion de la CLD chez la brebis gestante et lactante – Huchet et al.	26
Développement d'une méthode d'analyse sensible et rapide du chlordécone et du chlordécol dans des matrices alimentaires crues et cuites – Lambert et al.	28
ChlorExpo : Etude affinée de l'exposition alimentaire de la population des Antilles au chlordécone – Dufour et al.	30
De Kannari à Kannari 2 : enseignements, évolution méthodologique et perspectives – Martias et al.	33
Premiers résultats de l'enquête Kannari 2 – Ruello et al.	34
SESSION 2 – LES IMPACTS : SANTÉ HUMAINE, ÉCOSYSTÈMES, APPROCHE ONE HEALTH.....	36
Exposome : état des lieux depuis 2022, enjeux et perspectives – M. Samson	36
Conférence introductive de la session 2	
Spécificités de l'Exposome en contexte antillais – M. Gélou-Siméon	36
L'oursin, <i>Paracentrotus lividus</i> un modèle de choix pour étudier les effets cocktails de chlordécone associée à d'autres polluants – El Idrissi et al.	39
Exposition des femmes au chlordécone et délai nécessaire à concevoir : Résultats de la cohorte Timoun en Guadeloupe – Ben-Fares et al.	41
Quantification de la chlordécone dans le liquide folliculaire des femmes guadeloupéennes et corrélation avec la matrice sérique – Shitalou et al.	43
Incidence des cancers dans une cohorte historique de travailleurs d'exploitations bananières aux Antilles – Luce et al.	45
Pluri-exposition aux pesticides et risque de cancer de la prostate chez les travailleurs de la banane aux Antilles françaises – Gene et al.	47
Effet de la pollution des sols à la chlordécone sur la mortalité générale aux Antilles : une analyse économétrique en expérience naturelle – Leblanc-Even et Thuilliez	49

SESSION 3 – LA GESTION DU RISQUE : SOCIÉTÉS, POLITIQUES PUBLIQUES, OUTILS	52
Remédiation : état des lieux depuis 2022, enjeux et perspectives – M. Lesueur-Jannoyer	52
Sciences Humaines et Sociales : état des lieux depuis 2019, enjeux et perspectives – J. Daniel.....	52
Conférence introductive de la session 3	
Gouverner une toxicité durable – Comment le cas du chlordécone éclaire les savoirs, controverses et modes de gestion des résidus toxiques	53
Avancées et limites de la méthanisation comme outil de remédiation de déchets contaminés à la chlordécone – Henry et al.	56
Communication publique et abattage anba fèy dans la lutte contre la contamination au chlordécone. Impasse communicationnelle & co-existence culturelle. – Pourrez et Burban	58
Données et intelligence artificielle au service de la gestion de la chlordécone aux Antilles : gouverner, centraliser, rendre accessible – Hunel et Labéjof	61
Concevoir la prévention avec et pour la population : la démarche participative du projet « Messages chlordécone » - Gentil-Sergent et al.	63
« <i>Pa pran nou pou kouyon</i> » : ethnographie des perceptions citoyennes du chlordécone en Martinique et en Guadeloupe (2022-2025) – R. Le Coq	65
Peut-on réparer les dommages de la pollution au chlordécone par la loi ? Contraintes, enjeux et portée de la proposition de loi N° 2061 – F. Constant	67
PARTIE 2 - CONFÉRENCE « GRANDE TÉMOIN »	69
Du scandale politique au vécu intime : ce que le chlordécone produit au quotidien dans les vies des populations antillaises – J. Oublié	70
PARTIE 3 - COMMUNICATIONS AFFICHÉES	82
La chlordécone : comprendre sa structure et sa réactivité pour mieux agir – Poujade et al.	83
Évaluation de la pureté des produits de transformation de la chlordécone par RMN quantitative ¹ H : une solution fiable et pratique – Maciejak et al.	85
Synthèse, purification et caractérisation de standards analytiques de mono-, dihydro- et trihydro-chlordécones potentiellement formées lors d'opérations de remédiation ou rencontrées dans les matrices environnementales – Lormier et al.	87
Synthèse et caractérisation de polychloroindènes – vers une meilleure production de standards analytiques et expérimentaux pour ces métabolites de la chlordécone – Mion et al.	89
Détermination des limites de quantifications instrumentales pour le dosage de la chlordécone et de cinq produits de transformations sur différents équipements analytiques – Scherrer et al.	91
Développement d'anticorps monoclonaux anti-chlordécone pour immunoessais compétitifs – Vives et al.	93
Détection rapide et de terrain de la chlordécone aux Antilles – outil de surveillance intégrée – Ranguin et al.	95
Évolution du discours scientifique sur la chlordécone : De la crise d'Hopewell à la problématique antillaise – De Jong et al.	97
Les processus de dispersion de la chlordécone de la parcelle à la rivière : synthèse d'observations multi-échelle et long terme – Samouelian et al.....	100
Développement d'un test <i>in vitro</i> de bioaccessibilité pour prédire la biodisponibilité relative de la chlordécone contaminant les sols antillais – Mailfert et al.....	102
Chlordécone, ignames <i>Dioscorea bulbifera</i> : reconstruire une filière vivrière caribéenne par la génomique, la génétique et l'intelligence artificielle – Allaguy et al.	104

Transfert transgénérationnel - Impact des modalités d'allaitement sur la contamination et excrétion de la chlordécone chez l'agneau – Huchet et al.	106
Spécificités toxicocinétiques de la CLD chez l'ovin en croissance – Coppens et al.	108
Ovins en pâturage sous bananeraies : ingestion de sol et exposition à la chlordécone – Collas et al.	110
Validation d'une méthode de dosage de la chlordécone et de 14 autres polluants organiques persistants dans le sérum humain applicables aux études épidémiologiques – Saint-Hilaire et al. ..	112
Outil interactif de visualisation de la contamination des denrées alimentaires par le chlordécone – Luong et al.	114
L'exposition alimentaire de la population des Antilles au chlordécone issue de l'étude ChlorExpo : méthode de calcul probabiliste et lien avec le circuit d'approvisionnement – Dufour et al.	116
Utilisation de <i>Hydra vulgaris</i> et de <i>Paracentrotus lividus</i> comme modèles d'étude des effets transcriptionnels de l'exposition au chlordécone et aux cocktails de pesticides – Paul et al.	118
L'exposition prolongée aux pesticides induisant des risques de fibrillation atriale et de dysfonctionnement mitochondrial : cas particulier du Chlordécone – Fundere et al.	120
Lien entre exposition à la Chlordécone et cancer de la prostate en Martinique : mise en place de l'étude ChloECaPA – Cabrera et al.	122
Regard sur l'expérience du cancer de la prostate dans un contexte de pollution à la chlordécone : une approche interdisciplinaire en sciences sociales – Andry-Pinville et al.	124
Faire parler les données existantes : une approche intégrée du cancer de la prostate et de l'exposition à la chlordécone en Martinique – Houpert et al.	126
Développement d'une méthode de dosage de la chlordécone et de trois de ses produits de transformation dans différents tissus de la macrofaune du sol – Christophe et al.	128
Effets combinés des vers de terre et de la chlordécone sur les communautés microbiennes d'un sol antillais – Bataille et al.	130
Approche <i>in silico</i> basée sur l'outil TyPol pour catégoriser les produits de transformation de la chlordécone selon leur devenir et leur impact environnemental – Nzussing et al.	132
TRACE : Première acquisition de données sur les zones chlordécones de Martinique et évaluation de « l'effet réserve » - Lefaucheur et al.	134
PROJET CHLORIMAR (CHLORdécone et Impacts sur les Milieux Aquatiques et Ressources halieutiques) – Leconte et al.	136
Etude exploratoire des pesticides en environnement intérieur tropical : retour d'expérience du projet PestiMar (Martinique) – Boullanger et al.	138
Parcours d'un échantillon biologique de Kannari 2 : enjeux logistiques et qualité analytique – Martias et al.	140
Communiquer la prévention chlordécone entre registres médico-techniques, expériences vécues et matérialité des supports : segmentation des publics professionnels et rôle des espaces intermédiaires – Fourcot et Mignot	142
Connaissances, attitudes et pratiques de la population guadeloupéenne face à la contamination des sols par le chlordécone – Celeste et al.	144
Former les enseignants en territoire contaminé : six années d'itérations d'un dispositif de formation à la problématique de la chlordécone en Martinique – Ely-Marius et al.	147
Écoc'île : un jeu sérieux pour comprendre et agir face aux dynamiques systémiques de l'écocide – Bellemin-Bertraz et al.	149
Chlordécone : une étude qualitative exploratoire du sentiment de justice des personnes victimes en Martinique et en Guadeloupe – V. Prignac Merle.....	152

Entreprises en milieu durablement contaminé : responsabilité et attractivité territoriale à la lumière de la Charte de l'environnement – B. Facorat Gaspard	154
Les approches toxicocinétiques au service de la sécurisation des élevages et des produits animaux en zones chlอร์ดéconées – Fournier et al.	156
Développer une méthode acceptée et partagée avec les populations couplant un traitement chimique et la phytostimulation dans les sols pour réduire l'exposition vis-à-vis de la chlอร์ดécone – Ollivier et al.	158
Stratégie de dégradation chimique et d'identification des métabolites de la chlอร์ดécone – Thesnor et al.	160
Déchlорation réductrice de la chlอร์ดécone en conditions anaérobies : transformation par KB-1 et perspectives issues de microcosmes de sol et sédiment - Zungum et al.	162
Evaluation au champ de l'efficacité du biochar de sargasse et du charbon actif DARCO sur la séquestration du chlอร์ดécone et de ses métabolites dans un nitisol contaminé : effets sur les propriétés du sol, la diversité des herbacées et le transfert sol-plante – Dulormne et al.	165
Évaluation <i>in situ</i> et <i>in vitro</i> d'une technique de séquestration par charbon actif et biochar de Sargasses d'un nitisol chlอร์ดéconé issu d'un jardin de particulier – Rychen et al.	167
Dégradation de la chlอร์ดécone en méthanisation thermophile : génomes, dynamiques et rôle des archées – Chaussonnerie et al.	170

PARTIE 4 - ATELIERS PARTICIPATIFS : VERS UN DÉMONSTRATEUR CHLORLDÉCONE.....172

Cadrage de la co-construction du « démonstrateur solutions chlอร์ดécone » : les ateliers participatifs comme point de départ de la démarche.....	173
Aperçu des résultats des ateliers participatifs	176

Préambule - contexte, objectifs et temps forts du colloque « Chlordécone, comprendre et agir »

Le colloque scientifique « **Chlordécone : comprendre et agir** » s'est tenu du 23 au 25 juin 2026 à l'Université des Antilles, sur le site de Schoelcher en Martinique. Organisé par le **Comité de Pilotage Scientifique National (CPSN)** dans le cadre de la Stratégie Chlordécone et avec le soutien de la préfecture de Martinique, ce rendez-vous a réuni pendant trois jours la communauté scientifique ainsi que de nombreux représentants institutionnels, élus et acteurs des territoires de Guadeloupe et de Martinique.

Organisé tous les quatre ans, ce colloque constitue un rendez-vous important pour la communauté scientifique mobilisée sur la problématique de la chlordécone. Il offre un espace permettant à la fois de **dresser un état des connaissances scientifiques, de présenter et discuter les résultats les plus récents, de favoriser les échanges entre disciplines et de mettre en dialogue la recherche avec les attentes et les besoins des territoires.**

Une dynamique scientifique consolidée depuis 2022

L'édition 2026 s'est inscrite dans la continuité du précédent colloque organisé en 2022, tout en témoignant du chemin parcouru depuis quatre ans. Durant cette période, les connaissances se sont enrichies, les collaborations scientifiques se sont renforcées, de nouvelles disciplines ont rejoint les travaux engagés et plusieurs projets structurants ont produit de nouveaux résultats. La communauté scientifique travaillant sur la chlordécone s'est ainsi progressivement consolidée.

La mobilisation autour de cette nouvelle édition en a constitué une illustration : près de **70 propositions de communications** ont été soumises. La présence de nombreux doctorants et post-doctorants a également témoigné du renouvellement des compétences et de l'émergence d'une nouvelle génération de chercheurs engagés sur ces problématiques. Cette dynamique avait notamment été encouragée en juin 2025 à l'occasion d'une école d'été organisée par le CPSN, qui avait permis à cette jeune communauté scientifique de se rencontrer et d'échanger.

Afin de mettre en perspective ces évolutions, les grandes séquences du colloque ont été introduites par des états des lieux synthétiques. L'objectif était de mesurer les avancées réalisées depuis 2022, de rappeler les principaux acquis scientifiques, mais également d'identifier les questions qui demeurent ouvertes, les besoins de recherche et les perspectives qui se dessinent. Ces mises en perspective ont notamment porté sur les données, l'observatoire OPALE, l'exposome, la remédiation et les sciences humaines et sociales.

Cette volonté de capitalisation s'est également traduite par la mise en valeur de réalisations collectives, parmi lesquelles la publication de l'ouvrage ***Chlordécone aux Antilles, Une approche One Health en construction***, paru aux éditions Quæ et coordonné par le CPSN dans le cadre de la Stratégie Chlordécone. Cet ouvrage pluridisciplinaire propose une synthèse des connaissances acquises au cours des vingt dernières années et met en perspective les impacts de la pollution, les enjeux associés ainsi que les réponses mises en œuvre pour réduire les expositions et gérer les risques. [Lien pour accéder à l'ouvrage](#)

Le partage et l'accessibilité des connaissances constituent en effet un autre enjeu majeur de la dynamique scientifique. Dans le prolongement des engagements pris en 2022, un nouvel espace « **Portail scientifique** » a notamment été mis en ligne sur le site chlordecone-info.fr afin de valoriser les travaux et ressources produits et d'améliorer leur visibilité. Cet espace, piloté par le CPSN, a vocation à être progressivement enrichi avec la contribution de la communauté scientifique.

« Comprendre & Agir » : de la production de connaissances à leur mobilisation

En 2022, le colloque avait été placé sous le thème « **Chlordécone : connaître pour agir** ». Cette ambition demeure pleinement d'actualité. L'édition 2026 a cependant souhaité aller plus loin en plaçant au cœur de ses travaux une double ambition, résumée dans son intitulé : « **Comprendre & Agir** ».

Comprendre, d'abord, les contextes et les mécanismes de la pollution par la chlordécone, les voies d'exposition ainsi que leurs conséquences sanitaires, environnementales, économiques et sociales. Comprendre également pour mieux éclairer les décisions publiques et privées, identifier les priorités de recherche et d'action et développer des innovations, des outils et des solutions adaptés aux réalités des territoires.

Mais aussi **agir** : poursuivre les efforts de réduction des expositions, accompagner les filières et les acteurs concernés, favoriser l'émergence et l'évaluation d'innovations et de solutions et, plus largement, créer les conditions permettant aux connaissances scientifiques produites d'être davantage mobilisées dans l'action. Cette orientation suppose de renforcer le dialogue entre la recherche, les institutions, les acteurs de terrain et la société.

Cette double ambition s'inscrit dans une approche « **One Health – Une seule santé** ». Elle implique également de favoriser le croisement des disciplines. Le comité scientifique a ainsi privilégié, autant que possible, des sessions interdisciplinaires afin de dépasser les approches en silo et de mettre en dialogue les différentes dimensions d'une problématique qui, par sa nature et ses conséquences, appelle des réponses intégrées.

Un programme conçu pour favoriser les échanges et préparer l'action

Cette articulation entre **comprendre et agir** s'est traduite concrètement dans le programme des trois journées.

Quatre **conférences introductives** ont permis de mettre en perspective les grands enjeux scientifiques et d'apporter des éléments de cadrage aux différentes séquences. Elles ont été complétées par **vingt-et-une communications orales**, consacrées aux résultats récents et innovants de la recherche, ainsi que par une quarantaine de contributions présentées sous forme de posters.

Les « **poster corners** » ont occupé une place particulière dans le programme. Une quinzaine de posters ont été mis à l'honneur chaque jour, à travers des parcours thématiques organisés en parallèle, tout en laissant la possibilité d'une déambulation libre. L'objectif était de favoriser les échanges directs avec les équipes de recherche et de donner de la visibilité à une diversité de travaux, notamment ceux portés par les jeunes chercheurs.

L'une des spécificités de cette édition a également résidé dans la volonté **d'associer davantage les acteurs du territoire aux réflexions scientifiques**. Un panel d'acteurs a ainsi été spécialement convié à suivre les sessions correspondant à leurs domaines d'expertise, à faire part de ses besoins, questionnements et attentes et à identifier les enseignements susceptibles d'être utiles aux pratiques de terrain. Cette participation visait à nourrir les réflexions scientifiques et à mieux articuler la production de connaissances avec les réalités et les besoins des territoires.

La conférence d'une « **grande témoin** » a par ailleurs apporté un regard complémentaire sur la problématique de la chlordécone, en ouvrant un espace de dialogue entre recherche, société et expérience vécue.

La dimension « Agir » s'est exprimée de manière particulièrement concrète à travers l'**atelier collaboratif multi-acteurs consacré à la préfiguration d'un démonstrateur territorial Chlordécone**. Réunissant chercheurs, acteurs locaux et représentants institutionnels, cet atelier avait pour objectif d'identifier des pistes d'innovation et des solutions susceptibles d'être testées ou déployées, mais également de réfléchir collectivement aux conditions nécessaires à leur mise en œuvre. Il traduit une évolution importante de la démarche : si produire des connaissances demeure indispensable, réfléchir à leur appropriation, à leur traduction en outils opérationnels et à leur transformation en solutions concrètes devient tout aussi essentiel.

Enfin, une [table ronde de clôture](#), en présence d'institutionnels et d'élus, a permis de prolonger cette réflexion en préparant l'après-colloque. Dans un contexte où la pollution par la chlordécone constitue un défi de long terme, les intervenants ont été invités à partager leurs priorités, leur vision des enjeux à venir et les modalités selon lesquelles ils envisagent d'accompagner et de valoriser la dynamique scientifique au cours des prochaines années.

Au-delà de la restitution de résultats scientifiques, cette édition 2026 a ainsi été conçue comme un **espace de dialogue scientifique ouvert, interdisciplinaire et tourné vers l'action**. Les conférences, communications, posters, discussions en séance, ateliers participatifs et temps informels ont offert autant d'occasions de confronter les connaissances, de faire émerger de nouveaux questionnements et de renforcer les liens entre chercheurs et acteurs.

À travers le fil conducteur « **Comprendre & Agir** », l'ambition du colloque était finalement de contribuer à une dynamique collective de long terme : **continuer à faire progresser les connaissances sur la chlordécone et ses impacts, renforcer les collaborations et créer les conditions permettant de transformer davantage les acquis de la recherche en réponses, outils et solutions adaptés aux territoires de Guadeloupe et de Martinique**.

Comité scientifique et comité d'organisation

Le comité scientifique définit les orientations du colloque et en construit le programme. Il assure la sélection des contributions et veille à la qualité, à la cohérence et à l'indépendance scientifique des travaux présentés.

Membres du comité scientifique

Samuel Bates	Université des Antilles, membre du CPSN
Pierre Benoit	INRAE, membre du CPSN
Justin Daniel	Université des Antilles, vice-président du CPSN
Aurore Fourcot	Chargée de mission CPSN / CLoReCA
Sarra Gaspard	Université des Antilles, membre du CPSN
Magalie Lesueur-Jannoyer	CIRAD, membre du CPSN, animatrice de la CLoReCA
Christophe Mouvet	Retraité, membre du CPSN
Jacques Rosine	Santé publique France, membre du CPSN
Guido Rychen	Université de Lorraine, président du CPSN
Mailie Saint-Hilaire	Institut Pasteur de Guadeloupe, membre de la CLoReCA
Michel Samson	INSERM, vice-président du CPSN
Josselin Thuilliez	CNRS, membre du CPSN
Pierre-Henri Villard	Université Aix-Marseille, membre du CPSN

Le comité d'organisation assure la préparation et le bon déroulement du colloque. Il coordonne l'ensemble des aspects logistiques, techniques et opérationnels, en appui au comité scientifique.

Membres du comité d'organisation

Elise Buard	Chargée de mission chlordécone à la direction générale des Outre-mer (DGOM)
Alexis Desongins	Chargé de mission chlordécone en préfecture de Martinique
Edwige Duclay	Directrice de projet en charge de la coordination du plan chlordécone IV (DGS, DGOM)
Aurore Fourcot	Chargée de mission CPSN / CLoReCA
Cécile Houndonougbo	Chargée de mission chlordécone à la direction générale de la santé (DGS)
Léa Nacheff	Chargée de mission chlordécone en préfecture de Guadeloupe

PARTIE 1
CONFÉRENCES ET COMMUNICATIONS ORALES

CONFÉRENCE INTRODUCTIVE DU COLLOQUE

Chlordécone : Une lecture One Health d'un socio-écosystème durablement transformé

Nicolas Duracka (Université de Montpellier Paul-Valéry)

Comprendre la chlordécone comme un socio-écosystème

La chlordécone est souvent présentée comme une pollution environnementale ou comme un problème de santé publique. Pourtant, l'expérience accumulée au cours des dernières décennies montre qu'elle est devenue bien davantage qu'un simple contaminant. Elle a profondément transformé les relations entre les populations, les activités agricoles et halieutiques, les institutions, les savoirs scientifiques et les écosystèmes. Elle affecte les pratiques alimentaires, les trajectoires économiques, les représentations du risque, les dynamiques de confiance et les modes de gouvernance du territoire. La chlordécone peut ainsi être comprise comme un socio-écosystème durablement transformé, dans lequel les dimensions sanitaires, environnementales, sociales, économiques et politiques sont étroitement imbriquées. L'approche One Health offre un cadre particulièrement pertinent pour appréhender cette complexité en considérant que la santé humaine, la santé animale, la santé environnementale et les dynamiques sociales sont indissociables.

Reconnaître les acquis des Plans Chlordécone I à IV

L'histoire des Plans Chlordécone témoigne d'un élargissement progressif du regard porté sur cette situation. Les premiers plans ont permis de mieux comprendre les mécanismes de contamination, de renforcer les dispositifs de surveillance et de développer des connaissances essentielles sur les expositions et leurs conséquences potentielles. Au fil du temps, les questions de diversification agricole, de participation citoyenne, d'accompagnement des populations et de justice environnementale ont pris une place croissante.

Le Plan Chlordécone IV marque une étape importante de cette évolution. Les dispositifs de chlordéconémie, par exemple, ne constituent plus seulement des outils de mesure de l'exposition individuelle. Ils soulèvent également des questions relatives à l'information des populations, à l'appropriation des résultats, à la confiance dans les institutions et à l'adaptation des comportements alimentaires. Une donnée biomédicale devient ainsi un objet social et territorial.

Le programme Jafa illustre également cette évolution. Initialement conçu pour réduire les expositions liées à l'autoconsommation alimentaire, il agit aujourd'hui sur un ensemble beaucoup plus large de dimensions en accompagnant les pratiques agricoles, les choix alimentaires, la circulation des connaissances et les relations entre habitants, chercheurs et institutions. Derrière la prévention sanitaire se dessine ainsi une véritable transformation des relations entre les populations et leur environnement.

Interpréter pour les difficultés persistent-elles ?

Malgré l'importance des connaissances produites et des actions engagées, de nombreuses difficultés demeurent. Celles-ci tiennent moins aujourd'hui à un manque d'informations qu'à la coexistence de visions, de temporalités et de légitimités différentes. Chercheurs, institutions, professionnels, associations et habitants ne perçoivent pas toujours les enjeux à travers les mêmes cadres d'interprétation.

Les restrictions de pêche constituent un exemple particulièrement révélateur. Pour certains acteurs, elles répondent avant tout à un impératif de santé publique visant à limiter les expositions. Pour les pêcheurs, elles concernent également les revenus, l'identité professionnelle, la transmission des savoir-faire et le rapport culturel à la mer. Une même décision peut donc être perçue simultanément comme une mesure de protection sanitaire, une contrainte économique ou une remise en cause d'un mode de vie.

Les cartographies des sols contaminés révèlent, elles aussi, ces difficultés. Elles représentent pour les chercheurs et les institutions un outil essentiel de connaissance et d'aide à la décision. Pourtant, elles peuvent parfois être vécues par certains habitants ou producteurs comme un facteur de stigmatisation.

territoriale ou de dévalorisation économique. Une même donnée scientifique peut ainsi produire des interprétations et des effets très différents selon les acteurs concernés.

Ces différences de perception peuvent générer des phénomènes d'incommunication qui compliquent la coopération et ralentissent l'action collective.

Opérationnaliser la démarche de co-construction dans une logique One Health

Dans ce contexte, l'approche One Health apparaît moins comme une nouvelle politique publique que comme une méthode permettant de mieux relier les initiatives déjà existantes. Elle invite à partir des problèmes concrets rencontrés sur le territoire, à développer des indicateurs partagés, à construire des espaces de dialogue et à renforcer les coopérations entre secteurs. Elle ouvre également la voie à des démarches prospectives capables d'aider les acteurs à construire ensemble des trajectoires souhaitables pour l'avenir. L'idée d'un observatoire du socio-écosystème chlordécone illustre cette ambition : suivre simultanément les dimensions sanitaires, environnementales, économiques et sociales afin de mieux comprendre leurs interactions et d'accompagner les décisions collectives.

La chlordécone constitue ainsi un laboratoire particulièrement riche pour penser l'évolution des approches One Health. Elle montre que les grands défis contemporains ne peuvent être abordés à travers une seule discipline ou une seule politique publique. Elle souligne l'importance de relier les savoirs, les expériences et les capacités d'action autour d'un problème commun. Le défi des prochaines années ne sera donc pas seulement de poursuivre la compréhension de la contamination, mais de renforcer la capacité collective à vivre, décider et agir dans un socio-écosystème durablement transformé.

SESSION 1 - LA CONTAMINATION : MILIEUX, CHAÎNES ALIMENTAIRES ET EXPOSITIONS

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA SESSION 1

 [visualiser la vidéo](#)

 [visualiser la présentation](#)

Données et Observatoire OPALE : état des lieux depuis 2022, enjeux et perspectives

Pierre Benoit (INRAE)

L'Observatoire des Pollutions Agricoles aux AntiLEs (OPALE) a été initié en 2016 afin de suivre l'impact des pratiques agricoles, passées et actuelles, sur l'environnement, et notamment l'état de la contamination des sols par la chlordécone et les autres pesticides dans les eaux superficielles et souterraines de bassins versants instrumentés en Martinique et en Guadeloupe. Depuis 2022, Opale s'est étendu aux milieux côtiers.

En 10 ans, les données acquises ont déjà fait progresser la connaissance de la dynamique de contamination dans l'espace et sur des temps longs, entre compartiments environnementaux et le long des chaînes alimentaires.

Les communications de cette session donneront à voir les principales avancées récentes obtenues sur le dispositif OPALE et illustreront l'intérêt d'un observatoire de ce type pour des recherches interdisciplinaires.

CONFÉRENCE INTRODUCTIVE DE LA SESSION 1

La mesure au cœur de la problématique chlordécone : enjeux et avancées

Maïlie Saint-Hilaire (Institut Pasteur de Guadeloupe, C2AS)

Les Antilles Françaises, Guadeloupe et Martinique, subissent une pollution permanente de l'environnement par la chlordécone (CLD), un insecticide organochloré employé de 1973 à 1993 pour lutter contre le charançon du bananier. Pourtant, un postulat fondamental structure l'approche de cette contamination : sans mesure, pas de compréhension ; sans compréhension, pas d'action. C'est en 1975, à Hopewell (Virginie, États-Unis), que la première démonstration de ce postulat est faite : la mesure de la CLD dans le sang des ouvriers exposés, par GC-ECD avec une limite de détection de l'ordre de 5 µg/L (US EPA, 1980 ; Blanke et al., 1977). Cette situation a entraîné un suivi clinique de ces personnes et une analyse des conditions de travail et des teneurs en CLD sur le site. Aux Antilles, c'est la mesure dans les eaux de distribution à la fin des années 1990, révélant des concentrations jusqu'à cent fois supérieures aux normes, qui signe l'éclatement du scandale sanitaire et déclenche les plans CLD successifs. Ce fil conducteur — « mesurer pour comprendre, comprendre pour agir » — structure cette conférence introductive.

La mesure au cœur de la stratégie CLD : des décisions du quotidien

Avant d'être un enjeu scientifique, la mesure de la CLD est avant tout un outil de décision concret, ancré dans le quotidien des populations et des acteurs de santé publique antillais. Trois exemples illustrent cette réalité. Premièrement, la surveillance de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine repose entièrement sur le dosage de la CLD dans les eaux brutes et traitées : c'est la mesure qui déclenche les alertes, conditionne les restrictions de consommation et guide les décisions de traitement des stations concernées. Deuxièmement, la mise en circulation des animaux d'élevage est directement conditionnée par le résultat du dosage de la CLD dans le tissu gras périrénal : en dessous du seuil réglementaire, l'animal peut être mis sur le marché ; au-dessus, il est retiré de la chaîne alimentaire. Sans cette mesure, pas de garantie sanitaire possible pour les filières animales antillaises. Le dosage de la CLD dans le sang humain permet à chaque habitant de Guadeloupe et de Martinique de connaître son niveau d'imprégnation et donc d'adapter ses pratiques alimentaires. Ces quelques exemples illustrent un même principe : la mesure est le fondement opérationnel de la protection des populations antillaises.

Comment s'est construite la mesure de la CLD dans le temps ?

Historiquement, c'est dans le sérum que les premières méthodes analytiques de référence ont été développées. Les limites de quantification (LOQ) des méthodes des années 1970-1980, de l'ordre du microgramme par litre (Blanke et al., 1977 ; US EPA, 1980), se sont révélées insuffisantes pour les études épidémiologiques antillaises. L'amélioration progressive de la sensibilité analytique — GC-ECD, puis GC-MS, GC-MS/MS et LC-MS/MS — a permis d'atteindre des LOQ de l'ordre de 0,02 à 0,06 µg/L (Bichon et al., 2015 ; Fournier et al., 2017 ; Fourcot et al., 2020 ; Saint-Hilaire et al., 2023), rendant ainsi possibles les grandes études épidémiologiques antillaises telles que Kannari, Timoun et Karuprostata. Parallèlement, la couverture analytique s'est progressivement étendue à l'ensemble du continuum de contamination « Sol → Eau → Aliment → Animal → Homme ». Pour les sols par exemple, l'évolution des techniques d'extraction — Soxhlet, puis extraction accélérée par solvant (ASE), puis QuEChERS — a accompagné le développement des méthodes d'analyse (GC-ECD, GC-MS/MS, LC-MS/MS), avec des LOQ actuelles de l'ordre de 2 à 30 µg/kg selon les protocoles (Bristeau et al., 2012 ; Rochette et al., 2020 ; Cochenne et al., 2024).

Les manquements en 2022 : ce que la mesure ne permettait pas encore de voir

Malgré ces avancées, des lacunes analytiques majeures persistaient en 2022, constituant autant d'angles morts pour la compréhension et la prise de décision. Premièrement, les produits de transformation (PTs) de la CLD représentent la lacune analytique la plus critique. Plus de vingt PTs appartenant à sept familles structurales ont été identifiés dans les matrices

environnementales antillaises (Chevallier et al., 2019 ; Della-Negra et al., 2020), mais seuls le chlordécol (CLDOH) et la 10-monohydrochlordécone (A2) sont aujourd'hui commercialement disponibles et dosés en routine par quelques laboratoires. La disponibilité des PTs restait donc un frein majeur. Deuxièmement, la disponibilité des essais inter-laboratoires (EIL) demeurait insuffisante. Les premiers EIL organisés en France — eaux en 2012 (Bristeau et Ghestem, 2012) et sols en 2013 (Amalric et Bristeau, 2014) — ont révélé des coefficients de variation inter-laboratoires de l'ordre de 30% pour la CLD dans les eaux et les sols et jusqu'à 104% pour A2 dans les sols, rendant les données difficilement comparables. Troisièmement, la mesure R5 du plan CLD IV a formellement reconnu le besoin de développer des capacités analytiques sur le territoire antillais, face au constat que la grande majorité des analyses réglementaires est encore réalisée en France hexagonale, avec des délais incompatibles avec la réactivité sanitaire locale. Enfin, le suivi de la CLD et de ses PTs dans des matrices d'intérêt croissant — digestats, vers de terre, matrices biologiques féminines — restait limité par l'absence de méthodes validées et disponibles.

Les avancées depuis 2022 : nouvelles mesures et actions

La mise en place de la chlordéconémie sur les territoires antillais par les ARS et l'appel à projets CLD de 2022, soutenus conjointement par l'ANR, la Région Guadeloupe et la Collectivité Territoriale de la Martinique, ont constitué un tournant décisif en matière de mesure. La mise au point à l'Institut Pasteur de la Guadeloupe soutenu par l'ARS Guadeloupe d'une méthode QuEChERS accréditée COFRAC pour le dosage de la CLD dans le sérum humain (Saint-Hilaire et al., 2023) est une avancée d'importance pour le territoire. Depuis fin 2023, soutenu par l'ARS Martinique, le CHU de Martinique a développé sa propre méthode de dosage sérique, accélérant la dynamique de relocalisation analytique publique. Par ailleurs, les laboratoires privés Cerballiance et Eurofins ont de leur propre initiative mis en place ces méthodes en Martinique, témoignant d'une dynamique de marché du dosage de la chlordéconémie. Concernant les PTs, les projets MAPEMONDE et CHLOR2NOU ont permis de définir les LOQ attendues sur différents systèmes analytiques (Poster Scherrer et al.) et de développer de nouveaux protocoles QuEChERS couplés à des analyses GC-MS/MS et LC-MS/MS pour les quantifier simultanément dans les eaux environnementales (Poster Saaidi et al.), les sols (Oral Saint-Hilaire et al.) et les vers de terre (Poster Christophe et al.). L'Anses a de plus étendu sa méthode réglementaire à l'aide de la technique d'extraction QuEChERS dans les matrices alimentaires crues et cuites, avec l'ajout du suivi du CLDOH dans le cadre du projet Chlorexplo (Oral Lambert et al.). Ces travaux présentés lors du colloque révéleront des profils de contamination plus complets que les méthodes de routine actuelles. Sur le plan de l'harmonisation, le premier EIL dans le sérum humain et animal, organisé en 2024 à l'initiative du Laberca, a réuni neuf laboratoires et obtenu huit z-scores satisfaisants sur neuf pour le sérum humain (Guiffard et al., soumis). Enfin, l'exploration de nouvelles matrices innovantes — poussières domestiques (Dufresne et al.2025) et liquide folliculaire (Oral Shitalou et al.) dans le cadre du projet KARUFERTIL — ouvre des fenêtres d'exposition jusqu'ici non documentées aux Antilles.

Les enjeux : du travail analytique d'importance pour la prochaine décennie

Ces avancées ouvrent un agenda analytique considérable pour la prochaine décennie. La mise en place d'EIL réguliers dans l'ensemble des matrices — biologiques, alimentaires et environnementales — constitue un préalable indispensable à la comparabilité des données dans le temps et entre territoires. Le développement de matériaux de référence de qualité (MRQ) adaptés aux matrices antillaises est une condition *sine qua non* pour la validation et la comparaison des méthodes. La concrétisation de la mesure R5 du Plan CLD IV représente l'enjeu structurant des prochaines années pour les laboratoires antillais. La poursuite de développement de méthodes pour le dosage de la CLD et de certains de ces PTs (en particulier B1 et C1/C2) dans différentes matrices d'intérêts mais aussi la disponibilité de ces PTs aux laboratoires sera aussi un enjeu majeur. Actuellement seul le Genoscope et Azur Isotope peuvent fournir certains PTs ou étalons internes. Par ailleurs, la recherche doit désormais intégrer la CLD dans un contexte de multi-exposition, conformément aux orientations de l'appel à projets CLD II : plusieurs études dont Kannari II (Oral Ruello et al.) et KARUFERTIL (Poster Saint-Hilaire et al.), intègrent cette

notion de multi-exposition au-delà de la CLD seule. Enfin, un challenge analytique majeur sera l'utilisation d'approches non ciblées pour un suivi plus complet de l'exposome chimique antillais, permettant une cartographie globale des expositions sans *a priori* mais aussi la mise en place d'outils de quantification rapide et de terrain adaptée à la CLD. La CLD nous enseigne depuis cinquante ans que la mesure n'est pas une fin en soi — elle est la condition de tout le reste. Les enjeux analytiques des prochaines années conditionneront notre capacité collective à « Comprendre et à Agir ».

Références bibliographiques

- Amalric L., Bristeau S., 2014. Essai d'intercomparaison de l'analyse de la chlordécone et de ses métabolites dans les sols.
- Blanke et al., 1977 Blanke R.V., Fariss M.W., Griffith Jr F.D., Guzellan P., 1977. Analysis of chlordecone [kepone®] in biological specimens. *Journal of Analytical Toxicology*, 1(2):57-62.
- Bichon et al., 2015 Bichon E., Guiffard I., Vénisseau A., Marchand P., Antignac J.P., Le Bizet B., 2015. Ultra-trace quantification method for chlordecone in human fluids and tissues. *Journal of Chromatography A*, 1408, 169-177.
- Bristeau et Ghestem, 2012 Bristeau S., Ghestem J.P., 2012. Résultats de l'essai interlaboratoire chlordécone et chlordécone-5b-hydro dans les eaux de surface continentales et les eaux souterraines. Rapport final, BRGM/RP-61916-FR, 72 p.
- Bristeau S., avec la collaboration de Amalric L., Mouvet C., 2012. Validation de la méthode d'analyse de la chlordécone pour l'application au suivi des procédés de dépollution des sols Antillais. Rapport final, BRGM/RP-60469-FR, 64 p.
- Fourcot et al., 2020 Fourcot A., Feidt C., Bousquet-Mélou A., Ferran A.A., Gourdière J.L. et al., 2020. Modeling chlordecone toxicokinetics data in growing pigs using a nonlinear mixed-effects approach. *Chemosphere*, 250:126151.
- Fournier A., Feidt C., Lastel M.L., Archimède H., Thome J.P. et al., 2017. Toxicokinetics of chlordecone in goats: implications for risk management in French West Indies. *Chemosphere*, 171:564-570. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.054>.
- Cochennec et al., 2024 Cochennec M., Devriendt-Renault Y., Massat F., Guérin T., Ollivier P et al., 2024. Microwave-enhanced thermal removal of organochlorine pesticide (chlordecone) from contaminated soils. *Chemosphere*, 352:141486.
- Chevallier et al., 2019 Chevallier M.L., Della-Negra O., Chaussonnerie S., Barbance A., Muselet D. et al., 2019. Natural chlordecone degradation revealed by numerous transformation products characterized in key French West Indies environmental compartments. *Environmental science & technology*, 53(11):6133-6143. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06305>.
- Della-Negra et al., 2020 Della-Negra O., Chaussonnerie S., Fonknechten N., Barbance A., Muselet D. et al., 2020. Transformation of the recalcitrant pesticide chlordecone by *Desulfovibrio* sp. 86 with a switch from ring-opening dechlorination to reductive sulfidation activity. *Scientific Reports*, 10(1):13545. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70124-9>.
- Dufresne, M., Raffy, G., Guimberteau, J., Bonvallot, N., Lecorgne, A., Surget, E., ... & Le Bot, B. (2025). Determination of chlordecone in indoor dust by GC/MS/MS and associated human exposure in the French West Indies. *Journal of Hazardous Materials*, 495, 138809.
- First Inter-Laboratory Study for the Quantification of Chlordecone in Serum Samples: Design, performance and key recommendations” Ingrid Guiffard, Vincent Vaccher, Georges Scholl, Maïlie Saint-Hilaire, Fabien Mercier, Claire Soligot, Agnès Fournier5, Vincent Bessonneau, Gauthier Eppe, Emmanuelle Bichon (soumis)
- Rapport final. BRGM/RP-63113-FR, 87 p. Disponible sur <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-63113-FR.pdf>.
- Rochette et al., 2020 Rochette R., Bonnal V., Andrieux P., Cattani P., 2020. Analysis of surface water reveals land pesticide contamination: an application for the determination of chlordecone-polluted areas in Guadeloupe, French West Indies. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(33):41132-41142. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10718-y>.
- Saint-Hilaire et al., 2023 Saint-Hilaire M., Plumain D., Thomé J.P., Adam C., Scholl G. et al., 2023. Validation of an HPLC-MS/MS method with QuEChERS extraction using isotopic dilution to analyze chlordecone in human serum. *Journal of Chromatography B*, 1229:123894.
- US EPA, 1980. Manual of Analytical Methods for the Analysis of Pesticides in Humans and Environmental Samples. EPA-600/8-80-038.

Développement d'une méthode de type QuEChERS-LC-MS/MS pour analyser la chlordécone et trois de ses produits de transformations pour les sols antillais

Maïlie Saint-Hilaire^{1*}, Didier Plumain¹, Anatja Samouelian², Pierre-Loïc Saaidi³, Antoine Richard⁴

¹ Institut Pasteur de Guadeloupe, Laboratoire C2AS (Chimie Analytique Appliquée à la Santé), F-97139 Les Abymes

² UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 34060 Montpellier, France

³ Génomique Métabolique, Genoscope, Institut François Jacob, CEA, CNRS, Univ Evry, Université Paris-Saclay, Evry, France

⁴ INRAE UR Agrosystèmes Tropicaux, F-97170 Petit Bourg, Guadeloupe, France

* msaint-hilaire@pasteur-guadeloupe.fr

◆ Messages-clés :

- Nouvelle capacité d'analyse en local de la chlordécone et de trois de ses produits de transformation à l'Institut Pasteur de la Guadeloupe (IPG)
- Des résultats comparables entre IPG et le laboratoire de référence Terana ont été obtenus pour la chlordécone, le chlordécol et la 8-monohydrochlordécone (A2)
- La 10-monohydrochlordécone (A1) a été détectée dans les sols analysés
- L'ajout de fluorure de sodium augmente significativement les concentrations de la chlordécone possiblement piégée dans les allophanes des andosols

Mots-clés : chlordécone, QuEChERS, sols, produits de transformation, analyse en local

Contexte et enjeux

La chlordécone (CLD) est un insecticide organochloré utilisé massivement aux Antilles françaises entre 1972 et 1993 dans les bananeraies, dont la persistance dans l'environnement a conduit à une contamination durable des sols. La gestion de cette pollution repose notamment sur une connaissance fine des niveaux de contamination des sols. Actuellement, les analyses de sols de la CLD et de deux produits de transformation (PTs) (chlordécol, CLDOH ; 8-monohydrochlordécone, A2) sont effectuées en France Hexagonale par l'un des rares laboratoire accrédité pour ces analyses disposant de l'agrément nécessaire pour réceptionner des sols antillais. Pour soutenir des mesures de gestion et action de recherche sur cette contamination spécifique des Antilles, il est important de pouvoir aussi déployer localement une capacité analytique. Le projet CHLOR2NOU répond à ce besoin via le développement d'outils de surveillance pour la CLD et ses PTs. Par ailleurs, les sols antillais sont issus d'une pédogenèse liée à la succession des projections volcaniques et à leur altération sous l'influence d'un régime pluviométrique. Il en résulte en zone cultivée une forte variabilité des propriétés pédologiques. Cette spécificité est à prendre en compte dans la validation de la méthode analytique adaptée à l'ensemble des types de sols. A ce titre les andosols, peuvent présenter des teneurs parfois importantes d'allophane fortement liés à la matière organique qui favorise la rétention de la CLD et interroge les développements analytiques qu'il conviendrait de mettre en place pour doser la CLD dans ces situations. En effet ces phases minérales amorphes, nanostructurées avec la matière organique des sols ont la propriété de "séquestrer" la CLD (Woignier et al 2012).

Dans ce contexte, nous avons : (1) comparé les résultats pour la CLD, le CLDOH et A2 sur 25 échantillons de sol de différents types, (2) recherché l'impact des allophanes des andosols lors de l'analyse des teneurs en CLD et (3) identifié un nouveau PT, la 10-monohydrochlordécone (A1) précédemment retrouvé dans certains échantillons de sol (Chevallier et al 2019).

Matériel et méthodes

Une campagne d'échantillonnage sur le site observatoire OPALE en Guadeloupe a permis de collecter 25 échantillons de sol représentatifs de la séquence Andosol/Nitisol historiquement contaminée en CLD et pour lesquels des quantifications de CLD et deux PTs (CLDOH & A2) avaient été réalisées par le laboratoire Terana accrédité COFRAC. Dans un premier temps, pour mettre au point la méthode analytique, nous avons réalisé une extraction de 2 g de sols homogénéisés, tamisés à 4 mm et séchés (ou non) à 40°C afin de tester l'impact du séchage sur le protocole. Après réhydratation à l'aide d'eau milliQ et ajout des étalons internes (¹³C₁₀-CLD, ¹³C₈-CLDOH), une extraction de type QuEChERS à l'aide d'acétonitrile (ACN) et de sels QuEChERS est réalisée. Pour chacun des échantillons, des tests ont été effectués avec purification à l'aide de la PSA/C18

afin de vérifier si cette étape était nécessaire (Saint-Hilaire et al., 2018). Les échantillons ont ensuite été analysés par LC-MS/MS (API 4000, AB SciEX) à l'aide de gammes d'étalonnage entre 9 et 250 µg/L pour chacune des quatre molécules (incluant A1 synthétisé selon Chevallier et al., 2019). Lors de l'extraction, le laboratoire réalise un blanc de manipulation pour s'assurer qu'il n'y a pas de contamination dans les réactifs et consommables utilisés et réalise un contrôle qualité en dopant un sol indemne de CLD et de ses PTs. Dans un second temps, nous avons voulu tester l'impact de la présence d'allophanes sur la détermination des teneurs en CLD. Pour cela nous avons ajouté du NaF à 1M dans l'étape de réhydratation des sols, dont l'ajout permet de détruire les allophanes. Par la suite, une extraction à l'aide d'ACN et de sels a été effectuée suivie d'une analyse par LC-MS/MS.

Résultats et discussion

Ces travaux ont permis de mettre au point une méthode pour doser la chlordécone et 3 autres de ses PTs dans les sols. En effet, pour les 25 échantillons analysés, les résultats obtenus par IPG étaient bien conformes aux incertitudes de mesures affichées par TERANA pour la CLD, le CLDOH et A2, validant la méthode développée sur une large variabilité de sols et de teneur en CLD (entre 417 et 5986 µg/kg de MS). Les contrôles qualités réalisés pour les 4 molécules se situaient bien entre 70 et 120% en accord avec les spécifications du Guide SANTE. Une limite de quantification de 0.05 mg/kg de MS a été obtenue pour les quatre molécules. Il a été montré qu'il n'y avait pas de différence significative obtenues avec ou sans PSA/C18, et que la présence de A1 à des teneurs inférieures à la LOQ dans plusieurs sols fortement pollués par la CLD est retrouvée. Enfin, nous avons vérifié que cette méthode permettait d'extraire la CLD et ses trois PTs y compris dans andosols contenant des allophanes. Le fluorure apporté par ce sel réagit avec l'aluminium amorphe présent dans les allophanes détruisant ainsi ces minéraux et libérant de la CLD séquestrée qui n'aurait éventuellement pas pu être extraite avec les méthodes d'extraction aujourd'hui utilisées. Nous avons observé une augmentation significative des concentrations avec le NaF et ce, uniquement pour les andosols. L'ajout de ce sel semble donc permettre de libérer une plus grande quantité de CLD, potentiellement "piégée" dans les allophanes des andosols. Ces résultats préliminaires confirment l'importance de valider les méthodes d'extraction sur un panel de sols représentatifs de ceux qui seront analysés par la suite et d'en connaître leurs propriétés pour adapter les protocoles aux matrices analysées. Ils suggèrent que les dosages de CLD réalisées jusque-là sous-estiment probablement légèrement les teneurs en CLD dans les andosols à allophanes. Ces travaux apportent des résultats innovants sur le dosage des sols contaminés par la CLD et améliorent le suivi de ce polluant et de son devenir dans les années à venir.

Références bibliographiques

Saint-Hilaire, M., Bertin, T., Inthavong, C., Lavison-Bompard, G., Guérin, T., Fournier, A., ... & Parinet, J. (2018). Validation of analytical methods for chlordane and its metabolites in the urine and feces of ewes. *Journal of Chromatography B*, 1093, 66-76.

Woignier T., Clostre F., Macarie H., Jannoyer M. (2012). Chlordane retention in the fractal structure of volcanic clay. *Journal of Hazardous Materials*, 241-242, 224-230

Chevallier ML, Della-Negra O, Chaussonnerie S, Barbance A, Muselet D, Lagarde F, Darii E, Ugarte E, Lescop E, Fonknechten N, Weissenbach J, Woignier T, Gallard JF, Vuilleumier S, Imfeld G, Le Paslier D, Saaidi PL. Natural Chlordane Degradation Revealed by Numerous Transformation Products Characterized in Key French West Indies Environmental Compartments. *Environ Sci Technol*. 2019 Jun 4;53(11):6133-6143. doi: 10.1021/acs.est.8b06305. Epub 2019 May 22. PMID: 31082212.

Évolution spatio-temporelle de la CLD dans les sols par une approche bayésienne - valorisation de la cartographie des sols Martiniquais

Jérémy Lavarenne^{1,2*}, Jean-François Desprats^{4,5}, Jean-Baptiste Charlier^{4,5}, Yves Le Roux⁶, Aurore Fourcot⁷

¹ CIRAD, UMR TETIS, F-97212 Le Lamentin, Martinique, France

² TETIS, Université de Montpellier, AgroParisTech, CIRAD, INRAE, Montpellier, France

³ CIRAD, UMR G-EAU, F-34398 Montpellier, France

⁴ BRGM - French Geological Survey, F-34000 Montpellier, France

⁵ G-EAU, Univ Montpellier, AgroParisTech, BRGM, CIRAD, INRAE, Institut Agro, IRD, Montpellier, France

⁶ L2A, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-Lès-Nancy, France

⁷ CIRAD, DRAG, F-97212 Le Lamentin, Martinique, France

* jeremy.lavarenne@cirad.fr

◆ Messages-clés :

- Les données de la cartographie à la contamination des sols par la chlordécone (CLD) de Martinique rassemblent environ 21 000 analyses sur 22 ans, avec une majorité de résultats sous limite de détection, sous la forme "<LD". Ces valeurs doivent être traitées comme des bornes supérieures, et non ignorées ou remplacées arbitrairement.
- Le modèle bayésien combine trois informations : la censure des mesures "<LD", la structure spatiale de la contamination sur une grille de 500 m, et une tendance temporelle monotone décrite par une demi-vie effective.
- Le modèle sans effet "sol" sert de référence pour estimer la tendance globale avant d'ajouter une hypothèse mécaniste supplémentaire. Il donne une demi-vie médiane d'environ 36 ans (intervalle crédible à 95 % : 24-67 ans).
- La prise en compte des types de sols suggère une hétérogénéité plausible de la dissipation : médianes plus courtes sur ferralsols et nitisols, plus longues en vertisols et dans la classe OTHER. Les intervalles restent toutefois largement chevauchants.
- Un test de sensibilité sur les limites de quantification des laboratoires modifie les valeurs absolues estimées, mais ne remet pas en cause l'existence d'une tendance à la décroissance. Les demi-vies rapportées sont des tendances de dissipation à l'échelle du réseau de surveillance, pas des constantes intrinsèques de dégradation.

Mots-clés : *chlordécone, censure à gauche, limite de détection (LD), modèle bayésien, modèle spatial BYM2, demi-vie effective, type de sols*

Contexte et enjeux

La pollution par la chlordécone aux Antilles françaises demeure un enjeu environnemental et sanitaire durable : les résidus persistent dans les sols, contraignent certains usages agricoles et peuvent contribuer aux transferts vers l'eau et les chaînes alimentaires (1-3). L'exploitation des bases de surveillance est cependant délicate. D'une part, une part importante des analyses est rapportée comme "<LD" : la concentration exacte n'est pas connue, mais elle est inférieure à la limite de détection du laboratoire. Si ces données sont ignorées ou remplacées par une valeur arbitraire, les tendances temporelles peuvent être biaisées (4). D'autre part, la contamination est très hétérogène dans l'espace, avec des gradients et des zones fortement contaminées liés à l'histoire des usages et à l'organisation des cultures. La question posée est donc la suivante : peut-on estimer, à partir des données de cartographie de la contamination des sols par la CLD existantes, le temps nécessaire à la diminution des concentrations dans les sols ? Les questions associées portent sur l'effet possible du type de sol et sur la reconstruction de cartes historiques, sous hypothèses explicites. Ce travail s'inscrit dans la stratégie du groupe de travail "SOLS" du Comité de Pilotage Scientifique National Chlordécone (CPSN) et vise à orienter les revisites de parcelles et la construction d'un observatoire des processus de dissipation.

Matériel et méthodes

Nous avons combiné les géométries de parcelles et la table d'analyses de chlordécone en Martinique pour constituer un jeu de données de $N = 21\,043$ observations parcelle-temps (cutoff 12/2025), incluant 8 904 mesures détectées et 12 139 mesures "<LD" avec une limite de détection renseignée. Le modèle est formulé

sur l'échelle log-concentration. Les valeurs détectées sont décrites par une loi normale. Les valeurs "<LD" contribuent au modèle par la probabilité que la concentration vraie soit inférieure à la limite de détection ; elles sont donc utilisées comme une information, sans imputation arbitraire.

La composante spatiale repose sur une grille régulière de 500 m. Le domaine actif comprend les cellules observées et leurs voisines, soit 4 410 cellules et 16 682 arêtes d'adjacence. Le champ spatial latent est de type BYM2, c'est-à-dire un modèle qui combine un effet structuré par le voisinage et un effet local non structuré (5). Cette grille permet d'agréger des parcelles proches et de limiter l'influence des évolutions de géométrie parcellaire au cours des dernières décennies.

La composante temporelle est décrite par une décroissance exponentielle de premier ordre. Cette hypothèse n'est pas interprétée comme une loi physique complète de dégradation. Elle fournit une tendance monotone, parcimonieuse et directement interprétable de la dissipation de la CLD par une demi-vie effective, ce qui est adapté à une fenêtre d'observation d'environ 22 ans et cohérent avec les travaux antérieurs sur la persistance de la chlordécone (1-3). Trois analyses sont comparées : un modèle de référence avec décroissance globale sans effet du type de sol ; un modèle dans lequel la pente de dissipation dépend de 6 classes de sols (Andosol, Ferralsol, Nitisol, Vertisol, Alluvions/Colluvions, OTHER), avec partage d'information entre classes ; et un test de sensibilité qui neutralise l'hétérogénéité inter-laboratoires des limites de quantification (LQ) en appliquant un seuil commun plus contraignant. L'inférence est réalisée avec Stan, puis contrôlée par les diagnostics de convergence, des vérifications prédictives et une validation prédictive par retrait successif des observations (6).

Résultats et discussion

Le modèle de référence sans type de sol estime une décroissance lente, avec une demi-vie médiane de 36 ans (intervalle crédible à 95 % : 24-67 ans). Le modèle incluant les sols donne une demi-vie globale plus longue, 58 ans (36-120 ans), et traduit une incertitude accrue lorsque l'on cherche à séparer simultanément les effets spatiaux, temporels et pédologiques. Le scénario de sensibilité avec LQ dégradée conduit à une demi-vie plus courte, 15 ans (13-17 ans). Ce résultat indique que les seuils analytiques des laboratoires influencent les valeurs absolues, mais il conserve le même message général : la tendance détectée est une décroissance lente de la contamination des sols.

Dans le modèle avec sols, les médianes par classe suggèrent des demi-vies plus courtes en Ferralsols (environ 21 ans) et Nitisols (23 ans), intermédiaires en Andosols (41 ans) et Alluvions/Colluvions (44 ans), et plus longues en Vertisols (59 ans) et OTHER (56 ans). Cette hiérarchie est compatible avec une influence des propriétés des sols sur la rétention et la dissipation de la chlordécone, mais elle ne doit pas être surinterprétée : les intervalles de crédibilité se chevauchent largement et certaines classes restent compatibles avec une pente très faible. L'extension "sols" apporte donc une lecture plus mécaniste, avec un gain prédictif limité au niveau agrégé.

Les vérifications du modèle soutiennent le traitement explicite des valeurs "<LD" et ne montrent pas de défaut majeur, même si quelques observations restent influentes. Les résultats confirment que la structure spatiale domine fortement le signal et que l'échantillonnage irrégulier limite l'identifiabilité d'une tendance temporelle fine. Les demi-vies estimées doivent donc être lues comme des demi-vies de dissipation effectives à l'échelle du réseau de surveillance, intégrant censure, structure spatiale, redistribution potentielle et historique d'échantillonnage, et non comme des constantes intrinsèques de dégradation. Le cadre peut servir à produire des cartes à des dates non observées, sous hypothèses et avec incertitude, ainsi qu'à cibler des revisites de parcelles. Les prochaines étapes concernent l'intégration plus explicite des effets laboratoire inter- et intra-laboratoire, l'ajout de covariables d'usage ou hydro-topographiques, et l'extension du cadre à la Guadeloupe pour comparer les tendances entre îles.

Références bibliographiques

- 1 Comte, I. et al. (2022). Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies. *Environmental Pollution*, 303, 119091.
- 2 Saaidi, P.-L. et al. (2023). Is a dissipation half-life of 5 years for chlordecone in soils of the French West Indies relevant? *Environmental Pollution*, 324, 121283.
- 3 Cabidoche, Y.-M. et al. (2009). Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: a simple leaching model accounts for current residue. *Environmental Pollution*, 157(5), 1697-1705.
- 4 Helsel, D.R. (2012). *Statistics for Censored Environmental Data Using Minitab and R*, 2nd ed. Wiley.
- 5 Riebler, A., Sørbye, S.H., Simpson, D., & Rue, H. (2016). An intuitive Bayesian spatial model for disease mapping that accounts for scaling. *Statistical Methods in Medical Research*, 25(4), 1145-1165.
- 6 Vehtari, A., Gelman, A., & Gabry, J. (2017). Practical Bayesian model evaluation using leave-one-out cross-validation and WAIC. *Statistics and Computing*, 27, 1413-1432.

Etude du transfert potentiel de chlordécone de parcelles à parcelles par ruissellement et érosion

Jonathan Allongout¹, Thierry Bazajet², Rémi Bizeul³, Olivier Cerdan⁴, Jean-François Desprats⁵, Olivier Evrard³, Anthony Foucher³, Thomas Grangeon^{*4}, Tim Hogge², Olivier Huttel⁶, Frederik Maldan⁵, Jean-Baptiste Nanette², Lai Ting Pak¹, Antoine Richard², Nazaïre Robin², Anatja Samouelian⁶, Marc Voltz⁶ (les auteurs sont listés par ordre alphabétique)

¹ Cirad, UPR HortSys, F-97285 Le Lamentin, Martinique, France

² INRAE UR Agrosystèmes Tropicaux, F-97170 Petit Bourg, Guadeloupe, France

³ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), CEA, CNRS, UVSQ, Université Paris-Saclay

⁴ BRGM, F-45060 Orléans, France

⁵ BRGM, F-34000 Montpellier, France

⁶ UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 34060 Montpellier, France

* t.grangeon@brgm.fr

◆ Messages-clés :

- Déploiement de mesures de terrain multi-échelles, de la placette (~ 10 m²) au bassin versant (~ 100 km²), de l'événement de pluie (infra-journalier) à l'archive sédimentaire (~ 50 ans), pour analyser le transfert potentiel de chlordécone de parcelles à parcelles par ruissellement et érosion.
- Quantification long terme (~ 50 ans) de taux d'érosion significatifs à l'échelle du bassin versant, associé à des teneurs en chlordécone non-nulles, montrant l'existence du transfert particulaire.
- Modélisation préliminaire distribuée du ruissellement et de l'érosion déployée à l'échelle de la Martinique et de la Guadeloupe.

Mots-clés : chlordécone, ruissellement, érosion, mesures, modélisation

Contexte et enjeux

Malgré l'interdiction de l'application de la chlordécone aux Antilles françaises en 1993, sa persistance dans les sols et ses effets sanitaires avérés soulèvent de nombreuses questions scientifiques mais également de nombreux enjeux pour les gestionnaires et les pouvoirs publics. Les campagnes de mesure de teneur en chlordécone dans les sols de Martinique et de Guadeloupe (programme Jafa, suivi agricole) mettent en évidence sa présence sur des superficies importantes. Ces mesures montrent une contamination quasi-systématique en chlordécone des parcelles historiquement en bananeraie, mais également des parcelles sans historique de culture de banane. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette discordance : transferts de terre, usage non-autorisé sur d'autres cultures, dispersion de la chlordécone dans l'environnement.

Cette présentation propose de synthétiser les résultats du projet SEA9-CLD dont l'objectif était d'analyser le transfert potentiel de la chlordécone de parcelle à parcelle par ruissellement et érosion. Les deux questions principales abordées sont i) le ruissellement et l'érosion sont-ils pertinents à considérer comme vecteur potentiel de dispersion de la chlordécone de parcelle à parcelle et ii) comment modéliser les flux de ruissellement et d'érosion à l'échelle de la Martinique et de la Guadeloupe pour identifier des zones à risque de contaminations ?

Matériel et méthodes

Des suivis sur le terrain ont été conduits à des échelles spatiales et temporelles emboîtées : de l'événement de pluie à l'échelle de la parcelle de 40 m² et à l'échelle du bassin versant (35 km² et 70 km²), jusqu'à l'intégration sur le long terme (~ 50 ans) via des carottes sédimentaires. Ces mesures visent i) à évaluer la pertinence de l'étude du ruissellement et de l'érosion comme vecteur de dispersion de la chlordécone et ii) à calibrer un modèle numérique (WaterSed) dans le contexte relativement sous étudié d'îles volcaniques tropicales.

Le modèle est calibré sur deux bassins versants avec des mesures hydrologiques haute fréquence, des données de la bibliographie et des mesures de terrain issues du projet, puis il est appliqué à l'échelle des

deux îles. Le modèle est distribué spatialement, à une résolution de cinq mètres. Le forçage pluviométrique se base sur l'ensemble des données publiques disponibles à l'échelle des deux îles (> 50 postes pluviométriques par île, fréquence de mesure 6 minutes sur la période 2007-2023).

Les zones sources de chlordécone considérées se basent sur l'inventaire des zones historiquement occupées par des bananeraies pendant la période d'application de la chlordécone et l'inventaire des parcelles avec un taux mesuré de chlordécone supérieur à la limite de détection (bases de données de référence en 2023). Le ruissellement et l'érosion depuis les zones sources vers les zones dites résidentielles et les zones agricoles (définies selon l'OCS-GE et le RPG, respectivement) sont évalués pour proposer une cartographie des transferts potentiels de chlordécone de parcelle à parcelle par ces flux de surface.

Résultats et discussion

Les parcelles instrumentées montrent que la majorité des événements ne produisent pas de ruissellement. Néanmoins, de la chlordécone est systématiquement quantifiée lorsque du ruissellement se produit. Pour ces situations, le transfert par la phase particulaire est variable, globalement minoritaire par rapport à celui par la phase dissoute. L'analyse des archives sédimentaires prélevées dans une retenue agricole drainant un bassin versant de 0.16 km² permet de reconstruire des taux d'érosion variant de 4 à 20 t.ha⁻¹.an⁻¹ sur les 50 dernières années. Des trappes à sédiments déployées pendant au moins une année hydrologique dans quatre bassins versants martiniquais montrent également des teneurs en chlordécone systématiquement non-nulles, confirmant l'existence du transfert particulaire de chlordécone.

Une méthodologie d'évaluation des chemins d'écoulements depuis les zones sources a été développée et mise en œuvre à l'échelle des deux îles (environ 800 km de linéaires inventoriés). Ils sont utilisés comme donnée d'entrée du modèle WaterSed. La calibration du modèle est satisfaisante (relation entre volumes d'eau modélisés et observés avec un $R^2 > 80 \%$). L'application du modèle à l'échelle des deux îles montre que le transfert de parcelle à parcelle par ruissellement et érosion est effectif mais n'affecte potentiellement que 6 % et 16 % de la superficie de la Guadeloupe et de la Martinique, respectivement, incluant les zones sources potentielles.

La modélisation préliminaire mise en place devrait être renforcée, particulièrement par la mise en place de réseaux de mesures permettant de calibrer le modèle vis-à-vis des flux de chlordécone. Néanmoins elle montre du transfert potentiel de parcelles à parcelles, tout en ouvrant la voie à la mise en place de stratégies d'aménagements du territoire (ex. gestion des écoulements, mise en place de solutions fondées sur la nature visant à limiter le ruissellement et le transfert de particules de sol érodées).

Contamination des milieux naturels par la chlordécone : suivis à long-terme dans le cadre d'OPALE

Charlotte R. Dromard^{1*}, Eric Abadie², Aymeric Beugnon³, Anne-Lise Tailame⁴, Antoine Desseix⁵, Jean-Baptiste Charlier^{6,7}, Patrick Lachassagne⁸, Antoine Richard³, Lai Ting Pak⁹, Marie Pierre Halm Lemeille²

¹ Laboratoire de Biologie des Organismes et des Ecosystèmes Aquatiques (BOREA), Université des Antilles - MNHN - CNRS 8067 - SU - IRD 207, F-97110 Pointe-à-Pitre, Guadeloupe

² IFREMER, Biodivenv, 79 route de pointe fort, F-97231, Le Robert, France

³ UR Agrosystèmes Tropicaux (UR ASTRO), INRAE, F-97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, France

⁴ BRGM Martinique, F-97200, Fort-de-France, Martinique

⁵ BRGM Guadeloupe, F-97170, Petit-Bourg, Guadeloupe

⁶ BRGM, Univ. Montpellier, Montpellier, France

⁷ G-eau, UMR 183, INRAE, CIRAD, IRD, AgroParisTech, Supagro, BRGM, Montpellier, France

⁸ HSM, Univ. Montpellier, CNRS, IRD, Montpellier, France

⁹ CIRAD, UPR HortSys, F-97285 Le Lamentin, Martinique

* charlotte.dromard@univ-antilles.fr

◆ Messages-clés :

- Les masses d'eaux côtières reçoivent les pesticides agricoles utilisés dans les bassins versants situés en amont.
- Les masses d'eaux côtières sont principalement contaminées par des apports constants de chlordécone mais aussi d'autres substances comme l'atrazine.
- Dans le milieu marin, la chlordécone a été quantifiée dans tous les compartiments biotiques du début de la chaîne alimentaire (phytoplancton et zooplancton) collectés.

Mots-clés : *monitoring, pesticides, bioconcentration, échantillonneurs passifs*

Contexte et enjeux

Aux Antilles françaises, une large proportion de la surface agricole utile est polluée par la chlordécone. Classée en tant que polluant organique persistant depuis 2009 à cause de sa dangerosité et de sa grande stabilité chimique, cette substance a contaminé de manière persistante l'ensemble des milieux naturels, des sols des parcelles agricoles aux eaux côtières marines. Afin de suivre le niveau de contamination dans l'espace et dans le temps et d'étudier les transferts possibles entre les différents compartiments environnementaux, OPALE (Observatoire des Polluants Agricoles aux antilles) a été déployé sur trois bassins versants en Guadeloupe (rivières Pérou et des Pères) et en Martinique (rivière du Galion). Cet observatoire a pour objectif de suivre l'impact des pratiques agricoles sur l'environnement et notamment le devenir des pesticides (chlordécone mais aussi d'autres substances) dans les sols, les eaux de surface, les eaux souterraines et plus récemment le milieu marin. Les bassins versants sont pensés comme des sites d'observation au sein desquels plusieurs variables sont mesurées à des pas de temps réguliers, dans les différents réservoirs potentiels de polluants agricoles.

Matériel et méthodes

Les bassins versants d'OPALE ont été instrumentés à partir de 2016 pour assurer le suivi des paramètres météorologiques et hydrologiques des eaux de surface et souterraines. En outre des échantillonnages réguliers (mensuels pour les eaux souterraines, et hebdomadaires pour les eaux de surface) pour la réalisation d'analyses multi-résidus de pesticides, des stations marines ont été intégrées à l'observatoire en 2022 (Tailame et al., 2022 ; Dromard et al., 2023). En Martinique, le suivi a été mis en place dans la baie du Galion, à proximité de l'embouchure de la rivière du Galion. En Guadeloupe, deux stations marines ont été installées devant l'embouchure de la rivière Pérou, à 400 m et 900 m de distance de l'embouchure. Sur chacune des stations, les concentrations en pesticides (72 molécules) sont suivies de manière trimestrielle dans l'eau de mer à l'aide d'échantillonneurs passifs intégratifs (de type POCIS) mais également dans

différents compartiments marins tels que les producteurs primaires (phytoplancton) et le premier niveau trophique des chaînes alimentaires marines (zooplancton). Les deux compartiments planctoniques sont collectés à l'aide de filets à plancton de maille 20 µm pour le phytoplancton et 200 µm pour le zooplancton, tractés derrière un bateau durant 10 min à 3 nœuds. En Guadeloupe, le sédiment marin a également été collecté sur les stations à l'aide d'une benne à sédiment. Les membranes des POCIS sont analysées au laboratoire EPOC à Bordeaux pour mesurer la concentration des 72 molécules recherchées, tandis que les échantillons de plancton et de sédiment sont envoyés à des laboratoires d'analyse pour les mesures de chlordécone uniquement.

Résultats et discussion

En Guadeloupe, durant la période 2022-2024, le suivi des eaux de surface a permis de quantifier 34 substances dans la rivière Pérou, auxquelles s'ajoutent 128 autres substances qui ont pu être détectées mais non quantifiées, leur concentration se situant sous le seuil de quantification du laboratoire d'analyse. Parmi ce cocktail, la chlordécone est systématiquement quantifiée, et représente de ce fait la substance polluante la plus concentrée (0,14 à 5,7 µg.l⁻¹). En Martinique, en 2022-2023, 35 molécules distinctes ont été quantifiées chaque année. Comme en Guadeloupe, la chlordécone a été quantifiée systématiquement dans chaque échantillon hebdomadaire prélevé sur les trois sites de suivi en rivière. Les concentrations mesurées dépassent quasi systématiquement le seuil de potabilité de l'eau (0,1 µg.l⁻¹).

Dans les eaux souterraines, la chlordécone reste la molécule qui est systématiquement retrouvée à des teneurs très élevées pour les deux bassins versants. D'autres pesticides tels que le HCH beta et la Dieldrine sont aussi régulièrement quantifiés mais leur distribution spatiale semble moins uniforme à travers les bassins versants. L'hétérogénéité du milieu géologique et les contrastes des temps de résidence entre masses d'eau souterraines permettent d'expliquer une part de cette variabilité.

Sur les stations marines, les teneurs en chlordécone mesurées dans la colonne d'eau par les POCIS varient de 3,2 à 30,3 ng.l⁻¹ en Martinique et de 0,04 à 1,43 ng.l⁻¹ en Guadeloupe. Un léger effet "saison" est noté. Au-delà de la chlordécone, deux herbicides et leurs métabolites sont fréquemment quantifiés dans les POCIS à des concentrations non négligeables : l'atrazine (et ses métabolites) et le métolachlore. En Guadeloupe, l'isoproturon a également été quantifié dans les membranes des POCIS.

Le suivi de la concentration en chlordécone dans le phytoplancton (fraction > 20 µm) a montré que la molécule est retrouvée dans tous les échantillons collectés, avec des concentrations allant de 30 à 831 µg.kg⁻¹ MF. Le zooplancton (fraction >200 µm) montre également des teneurs importantes (de 23 à 1301 µg.kg⁻¹ MF), avec une certaine variabilité selon les années. En Guadeloupe, les résultats ne permettent pas d'attester d'une éventuelle dilution de la pollution vers le large, étant donné le fait que les échantillons sont parfois plus contaminés à 900 m qu'à 400 m de la côte. Pour le sédiment marin, la molécule de chlordécone n'a été détectée qu'à une seule campagne, en septembre 2022, quelques jours après le passage de la tempête Fiona qui a généré un apport massif de sédiments terrestres contaminés en provenance des bassins versants étudiés.

Les résultats confirment la contamination pérenne des masses d'eaux côtières mais également du premier maillon de la chaîne trophique. Ces données renforcent l'idée d'une contamination persistante de la pollution agricole dans les eaux côtières.

Références bibliographiques :

Tailame AL, Richard A, Pak LT, Seux B, Dromard CR, et al. (2022) OPALE : Un Observatoire des Pollutions Agricoles aux Antilles le long du continuum terre-mer. Rencontres Chlordécone 2022 - Chlordécone, Connaître pour Agir, Coordination Locale de la Recherche sur la Chlordécone aux Antilles (CLOReCA) du plan chlordécone IV.; Comité de Pilotage Scientifique National (CPSN) du plan chlordécone IV., Le Gosier, Guadeloupe.

Dromard CR, Bajazet T, Charlier JB, Chatagnon A, Desseix A, Nanette JB, Tailame AL (2023). Monitoring agricultural pollution from the catchment area to coastal areas. 76th Gulf and Caribbean Fisheries, Nassau, Bahamas.

Transfert transgénérationnel : caractérisation des voies d'excrétion de la CLD chez la brebis gestante et lactante

Karine Huchet¹, Jean-Daniel Masson¹, Claire Soligot¹, Paméla Hartmeyer¹, Guido Rychen¹, Agnès Fournier^{1*}

¹ L2A, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-Lès-Nancy, France

* agnes.fournier@univ-lorraine.fr

◆ Messages-clés :

- Le transfert de chlordécone vers le fœtus représente entre 7 et 16% de l'exposition maternelle pendant la gestation
- Le transfert de chlordécone dans le lait, lors des 2 premiers mois de lactation, représente une excrétion de 16 et 19% de l'exposition maternelle chez les brebis exposées respectivement pendant la gestation et pendant la gestation puis la lactation.
- Chez la brebis en lactation, le temps de demi-vie sérique de la chlordécone, estimé à 12 jours, est inférieur à celui observé chez l'animal à l'entretien (21 jours).

Mots-clés : ruminants, gestation, lactation, excrétion, fœtus

Contexte et enjeux

Les denrées alimentaires d'origine animale peuvent être une source d'exposition à la chlordécone (CLD) pour l'homme, en cas de contamination de ces dernières. C'est pourquoi des limites maximales de résidus (LMR) ont été mises en place et que des plans de contrôles et de surveillances permettent de vérifier le respect de ces limites. Dans ce contexte les éleveurs ont besoin d'outils pour définir les stratégies d'élevage les plus appropriées compte tenu de la diversité : (i) des espèces animales et des stades physiologiques et (ii) des systèmes d'élevage et des types de parcelles.

Dans ce cadre, un premier outil basé sur la chlordéconémie pour prédire le temps nécessaire pour décontaminer le bovin adulte non lactant, non gestant, est actuellement utilisé sur le terrain via les GDS. Peu de connaissances sont cependant disponibles sur le devenir de la CLD chez le ruminant gestant et lactant. Une étude ancienne indique que la CLD est excrétée à une hauteur moyenne de 10% de la dose reçue, dans le lait de bovins exposés par voie orale (Smith et Arant 1967). Pour d'autres polluants organiques persistants (POPs ; ex : PCBs et PCDD/Fs), des études mettent en l'existence d'un transfert vers le fœtus et soulignent que la lactation est la principale voie de transfert vers le jeune, (Driesen, et al. 2022) (Hirako 2008). L'objectif de cette étude est de quantifier le transfert de la CLD vers le fœtus et vers le lait et de caractériser l'impact de ce transfert sur la charge corporelle de la mère.

Matériel et méthodes

Huit brebis gestantes ont été exposées oralement à 0,01mg CLD.kg⁻¹ PV.j⁻¹ via un aliment concentré contaminé durant les deux derniers mois de gestation. Des analyses sériques et fécales de CLD et de son métabolite principal, le CLDOH, ont été menées chez ces brebis gestantes. A la mise-bas, la charge de CLD a été déterminée dans l'organisme de quatre agneaux.

Après la mise-bas, les brebis ont été réparties en deux lots homogènes. L'exposition orale a été maintenue chez quatre brebis (EXP). Les quatre autres brebis (DEC) ont été nourries avec un aliment non contaminé. Des analyses de CLD et CLDOH ont été réalisées (i) dans le sang afin d'estimer le temps de demi-vie d'élimination, et (ii) dans les fèces et le lait afin d'estimer les quantités de CLD excrétées. Au tarissement (62 jours après mise-bas), la CLD a été quantifiée dans divers organes chez tous les animaux (foie, tissu adipeux et muscle long dorsal).

L'extraction et la quantification de la CLD et du CLDOH dans les matrices ont été réalisées par la méthode QuEChERS couplée à une analyse chromatographique par LC-MS/MS ou GC-MS/MS sur la plate-forme PASM (Université de Lorraine) pour le sérum, à l'institut Pasteur (Guadeloupe) pour les fèces et le lait et à

Labocea (Quimper) pour le lait et les organes.

Résultats et discussion

L'excrétion fécale représente la principale voie d'élimination de la CLD (cf. tableau 1). Les brebis ont excrété entre 42 et 64% de la CLD ingérée lors de la gestation. Sur la durée totale de l'étude, les brebis ont excrété entre 55 et 79% de la CLD ingérée. L'excrétion de CLDOH par voie fécale sur la même période a été plus faible (entre 12 et 34%). En 2021, Saint-Hilaire *et al.* avaient obtenu des niveaux similaires d'excrétion fécale chez la brebis non gestante et non lactante (51% de CLD et 35% de CLDOH). Une excrétion fécale d'environ 50 à 60% a également été mesurée en 2022 par Driesen *et al.* chez les vaches laitières exposées à des PCBs et des PCDD/Fs. Ces résultats indiquent que l'excrétion fécale des polluants organiques est la voie d'excrétion majeure qui ne semble pas dépendre de l'état physiologique chez l'animal adulte.

Lors de la mise-bas, la charge en CLD de l'agneau représente entre 7 et 16% de l'exposition maternelle durant la gestation (tableau 1) en fonction du poids de la portée et du nombre d'agneaux par brebis (1 à 3). L'excrétion via le lait représente entre 13 et 25% de l'exposition maternelle. Des ordres de grandeurs similaires ont été rapportés par Hirako *et al.* (2008) et Driesen *et al.* (2022) pour les PCBs et PCDD/Fs. De manière générale, cette étude met en évidence une excrétion globale de la CLD via le fœtus et le lait comprise entre 23% et 35% de l'exposition maternelle.

Après 62 jours de lactation, le groupe DEC atteint des concentrations en CLD inférieures à la LMR (Tissu adipeux périrénal : $13 \pm 4 \mu\text{g CLD.kg}^{-1}$ MF), tandis que les animaux EXP ont des teneurs qui dépassent la LMR $346 \pm 50 \mu\text{g CLD.kg}^{-1}$ MF (moyenne $\pm$ SD). A l'issue de l'expérimentation, la charge de CLD dans le foie, le tissu adipeux et le muscle long dorsal a été de 20 à 30 fois inférieure chez les brebis DEC comparativement aux brebis EXP. Chez les brebis EXP, la lactation réduit presque de moitié le temps de décontamination ($11,9 \pm 0,2$ jours), tandis que Fourcot *et al.* (2021) avaient montré chez des brebis à l'entretien (non gestante et non lactante) suivant des conditions similaires, un temps de demi-vie supérieur estimé à $21,3 \pm 6,5$ jours (moyenne $\pm$ SE).

Tableau 1 : Répartition de l'excrétion de CLD et CLDOH chez les brebis lors de la gestation et de la lactation

	Excrétion fécale (min-max)		Excrétion fœtale ¹ (min-max)	Excrétion dans le lait (min-max)
	CLD	CLDOH	CLD	CLD
Gestation	42-64%	9-19%	7-16%	/
Gestation et lactation	55-79%	12-34%	/	13-25%

1 : Estimation des agneaux nés vivants à partir des agneaux mort-nés et momifiés à la naissance

Les auteurs remercient l'équipe du L2A pour leurs contributions à l'expérimentation. Ce travail est financé dans le cadre du projet INSSICCA (Contrats du ministère de l'Agriculture DGAL/DGER).

Références bibliographiques

1. DRIESEN, C., *et al.* 2022, Chemosphere. 307, p. 135745.
2. FOURCOT, A., *et al.* 2021, Chemosphere. 277, p. 130340.
3. HIRAKO, M., 2008, Journal of Agricultural and Food Chemistry. 56 (15), p. 6768-6774.
4. SAINT-HILAIRE, M., *et al.* 2021, Environmental Toxicology and Pharmacology. 87, p. 103698.
5. SMITH, J.C. & ARANT. 1967; Journal of Economic Entomology. 60, 925-927

Développement d'une méthode d'analyse sensible et rapide du chlordécone et du chlordécol dans des matrices alimentaires crues et cuites

Marine Lambert^{1*}, Fiona Lobo¹, Lénaïc Cabestant¹, Gwenaëlle Lavison-Bompard¹, Jean-Charles Leblanc¹, Chanthadary Inthavong¹

¹ Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), Laboratoire de Sécurité des Aliments, Unité Pesticides et Biotoxines Marines, Laboratoire National de référence pour l'analyse de pesticides selon des méthodes monorésidus

* marine.lambert@anses.fr

◆ Messages-clés :

- La méthode d'analyse développée permet l'analyse sensible et rapide du chlordécone et du chlordécol dans des matrices alimentaires d'origine animale et végétale crues et cuites, avec des limites de quantification (LQ) comprises entre 0,09 et 0,87 $\mu\text{g kg}^{-1}$ pour le chlordécone et entre 0,5 et 2 $\mu\text{g kg}^{-1}$ pour le chlordécol.
- Cette méthode a été mise en œuvre pour l'analyse des 723 échantillons alimentaires de l'étude ChlorExpo de l'Anses.
- Depuis janvier 2026, cette méthode accréditée remplace la méthode officielle d'analyse du chlordécone utilisée pour les plans de surveillance et de contrôle dans les denrées alimentaires d'origine animale, réduisant de moitié les temps d'extraction et de purification tout en abaissant les LQ d'un facteur 3 à 18.

Mots-clés : QuEChERS ; analyse sensible ; ChlorExpo ; échantillons crus et cuits, chlordécol

Contexte et enjeux

L'étude ChlorExpo a été initiée par l'Anses en 2021 et a pour objectif d'affiner l'évaluation de l'exposition de la population des Antilles au chlordécone. Cette vaste étude est basée sur un échantillonnage alimentaire inspiré des études de l'alimentation totale (EAT) représentatif des habitudes alimentaires de la population de Guadeloupe et Martinique, en incluant leurs pratiques d'approvisionnement, de préparation et de cuisson des aliments [1]. La méthode officielle utilisée jusqu'à présent pour analyser le chlordécone dans les denrées alimentaires d'origine animale (DAOA) et végétale (DAOV) des plans de surveillance et de contrôle reposait sur un protocole d'extraction long et fastidieux constitué d'une succession d'étapes d'extractions solide/liquide et liquide/liquide et de transformations chimiques. Ses limites de quantification (LQ), de 3 $\mu\text{g kg}^{-1}$ dans les DAOA et de 5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ dans les DAOV, n'étaient pas suffisamment basses pour permettre des calculs affinés de l'exposition de la population des Antilles au chlordécone adaptés aux objectifs de l'étude et de l'évaluation des risques sanitaires à mener par les collectifs d'experts de l'Anses. Développée sur matrices crues uniquement, cette méthode ne permettait pas, par ailleurs, l'analyse du chlordécol, le principal métabolite du chlordécone, également étudié dans ChlorExpo.

L'unité Pesticides et Biotoxines Marines (PBM) de l'Anses, Laboratoire National de Référence pour l'analyse de pesticides – dont chlordécone – selon des méthodes monorésidus, a été chargée de mettre en place une méthode d'analyse plus sensible en termes d'abaissement des limites analytiques du chlordécone et du chlordécol dans des matrices alimentaires DAOA et DAOV aussi bien crues que cuites.

Matériel et méthodes

Au cours de travaux antérieurs, l'adéquation des approches d'extraction de type QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) a été démontrée pour l'analyse du chlordécone dans du foie cru [2] et du sérum de bovin [3]. Ces méthodes reposent sur l'extraction des analytes par un solvant organique, l'acétonitrile, en présence de sels et de tampons, suivie par une purification par extraction en phase solide dispersive (dSPE). Les extraits sont ensuite analysés par chromatographie en phase liquide ou gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Dans ce contexte, plusieurs paramètres ont été optimisés afin d'atteindre les objectifs de performance souhaités, parmi lesquels l'hydratation de la matrice, l'acidification du solvant d'extraction, la nature des sels QuEChERS et des phases de dSPE, et les modalités de

quantification, notamment au travers de l'étude des effets matrice.

Les protocoles analytiques optimisés ont été validés pour chaque catégorie de matrices, en intégrant des échantillons crus et cuits. Afin de refléter au mieux les échantillons qui seront analysés au cours de l'étude, les échantillons cuits ayant servi à la validation ont été préparés en incluant les mêmes modes de cuisson que ceux utilisés pour les échantillons de ChlorExpo (au four, bouilli, court-bouillon, sauté, grillé, mijoté, vapeur). La validation a été réalisée selon les guides et référentiels relatifs à la validation de méthode et/ou à l'analyse des pesticides dans les denrées alimentaires (NF V03-110, guide SANTE/11312/2021, LAB GTA 26).

Résultats et discussion

Au total, la méthode a été validée sur 10 catégories de matrices, réparties en 6 catégories de DAOV et 4 catégories de DAOA, aussi bien crues que cuites le cas échéant : les agrumes, les fruits à pépins et à noyau, les légumes fruits, les racines et tubercules, les légumes bulbes, brassicacées et légumes tiges, les légumes feuilles, les produits de la pêche (poissons, mollusques et crustacés), les muscles (viandes), les abats, et les œufs.

Dans les DAOV, les LQ obtenues sont de 0,43 $\mu\text{g kg}^{-1}$ pour le chlordécone et de 1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ pour le chlordécol et dans les DAOA elles sont de 0,09 à 0,87 $\mu\text{g kg}^{-1}$ pour le chlordécone et de 0,5 à 2 $\mu\text{g kg}^{-1}$ pour le chlordécol.

Cette méthode d'analyse a été appliquée aux 723 échantillons d'aliments crus et cuits de l'étude ChlorExpo, dont la parution des résultats est prévue courant 2026. La méthode a été transférée au réseau de laboratoires agréés et a remplacé la méthode officielle depuis le 1^{er} janvier 2026 pour l'analyse des DAOA. L'évolution de la méthode permet de réduire de moitié les durées d'extraction et de purification, tout en abaissant les LQ d'un facteur 3 à 18 selon la matrice considérée.

Références bibliographiques

- [1] Dufour, A., S. Poisson, M. Ali, A. Fournier, S. Lemoine, C. Mejean, C. Roth, J.-L. Volatier, et M. Jannoyer. 2022. "ChlorExpo: intégration des habitudes et pratiques alimentaires de la population des Antilles dans l'évaluation de l'exposition alimentaire au chlordécone" Rencontres Chlordécone 2022- Chlordécone, Connaître pour Agir, Dec 2022, Le Gosier, Guadeloupe. anses-04178970.
- [2] Saint-Hilaire, M., C. Inthavong, T. Bertin, G. Lavison-Bompard, T. Guérin, A. Fournier, C. Feidt, G. Rychen, et J. Parinet. 2018. "Development and validation of an HPLC-MS/MS method with QuEChERS extraction using isotopic dilution to simultaneously analyze chlordécone and chlordécol in animal livers." *Food Chemistry* 252: 147-153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.092>.
- [3] Lambert, M., K. Huby, J. Parinet, T. Guérin, G. Lavison-Bompard, et C. Inthavong. 2024. « Optimization of an HPLC-MS/MS method to analyze chlordécone in bovine serum and correlations with levels in liver, muscle and fat » *Chemosphere*, 354 (2024) 141755. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141755>.

ChlorExpo : Etude affinée de l'exposition alimentaire de la population des Antilles au chlordécone

Ariane Dufour¹, Léna Provost¹, Agnès Fournier², Soazig Lemoine³, David Makovski⁴, Eric Marchioni⁵, Caroline Mejean⁶, Chris Roth¹, Magalie Lesueur-Jannoyer⁷

¹ Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), Direction de l'évaluation des risques - ² Université de Lorraine, Inrae, Laboratoire Animal et Agroécosystèmes - ³ Université des Antilles, Laboratoire de biologie marine - ⁴ Inrae, UMR MIA-PS - ⁵ Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien UMR 7178, CNRS/Unistra, Equipe de Chimie Analytique des Molécules Bioactives et Pharmacognosie - ⁶ MoISA, Univ Montpellier, CIRAD, CIHEAM-IAMM, INRAE, IRD, L'Institut Agro - ⁷ Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), Direction régionale Antilles- Guyane - ⁸ G-eau, INRAE, CIRAD, IRD, AgroParisTech, Supagro, BRGM, Montpellier, France - ⁹ Univ. Montpellier, UMR LISAH (INRAE, IRD, Supagro), Montpellier, France - ¹⁰ HSM, Univ. Montpellier, CNRS, IRD, Montpellier, France

* chris.roth@anses.fr

◆ Messages-clés :

- ChlorExpo fournit une évaluation affinée de l'exposition alimentaire de la population des Antilles au chlordécone du fait d'améliorations méthodologiques, dont l'acquisition de nouvelles données de contamination des aliments « tels que consommés » recueillies en circuit formel et informel.
- L'exposition moyenne estimée au chlordécone, des enfants et des adultes de Guadeloupe et Martinique, est calculée inférieure à 0,023 µg/kg pc/j. L'exposition au chlordécol n'a pas été estimée en raison du très faible pourcentage d'échantillons dont la contamination a pu être quantifiée.
- ChlorExpo permet de confirmer que le circuit d'approvisionnement est un levier important de l'exposition : s'approvisionner davantage en circuit formel par rapport au circuit informel, permet de limiter l'exposition au chlordécone.

Mots-clés : chlordécone, chlordécol, exposition alimentaire, circuit d'approvisionnement, effet cuisson

Contexte et enjeux

La principale voie d'exposition au chlordécone des populations vivant aux Antilles est la voie alimentaire. Dès le début des années 2000, diverses mesures de gestion ont été mises en œuvre dans le but de réduire cette exposition : détermination de limites maximales de résidus (LMR), recommandations de consommation alimentaire, mise en place de pratiques agricoles adaptées en sols contaminés. Afin d'identifier des leviers d'action, la connaissance préalable de l'exposition et de ses déterminants est essentielle. L'Anses a ainsi conduit des études sur l'évaluation de l'exposition alimentaire au chlordécone des populations de Guadeloupe et Martinique et le risque sanitaire associé (Anses 2017, 2022). Dans ces études, l'exposition au chlordécone par la voie alimentaire a été évaluée à partir de la contamination des denrées alimentaires crues. Ces études ont permis d'identifier les catégories de populations surexposées et les aliments les plus contributeurs à l'exposition au chlordécone, sans toutefois prendre en compte les potentiels effets de la cuisson des aliments (Martin et al. 2020; Devriendt-Renault et al. 2023). De plus les modes d'approvisionnement semblent jouer un rôle non négligeable dans l'exposition.

Pour approfondir ces éléments, l'étude ChlorExpo a été mise en place en 2021. Son objectif est d'affiner l'estimation de l'exposition alimentaire au chlordécone de la population des Antilles, en se reposant sur de nouvelles données de contamination et en prenant en compte les habitudes d'approvisionnement et de cuisson des aliments.

Matériel et méthodes

ChlorExpo s'inspire de la méthodologie des études de l'alimentation totale, recommandée pour évaluer l'exposition alimentaire chronique de la population à des substances toxiques. Des données sur les pratiques d'approvisionnement et de cuisson des aliments ont été recueillies grâce à une enquête menée en 2021 en Guadeloupe et Martinique (Dufour et al. 2022) afin d'établir le plan d'échantillonnage pour la collecte des nouvelles données de contamination.

Celles-ci sont ainsi les plus représentatives possible de la contamination actuelle en chlordécone et en chlordécol dans les aliments « tels que consommés » par la population des Antilles. Les aliments retenus pour l'échantillonnage sur le terrain sont essentiellement ceux qui sont les plus contributeurs selon l'étude d'exposition Kannari (Anses 2017). Afin de tenir compte de la variabilité de la contamination, l'échantillonnage a été réalisé sur chaque île dans trois circuits : circuit formel, circuit informel en zone réputée contaminée et circuit informel en zone réputée non contaminée. Les prélèvements collectés par aliment et par circuit, ont été fractionnés de manière égale, puis combinés pour former des échantillons composites, dont un est conservé à l'état cru et les autres préparés « tels que consommés » selon les principaux modes de cuisson de la population. Le dosage des aliments en chlordécone et chlordécol a été effectué par chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem par le laboratoire national de référence monorésidu du laboratoire de sécurité des aliments de l'Anses (Lambert et al. 2026). Les données de consommation utilisées pour le calcul d'exposition sont celles de l'enquête Kannari réalisée en 2013-14. Afin de tenir compte des incertitudes liées au manque ponctuel d'information sur le circuit d'approvisionnement, à l'échantillonnage, à la préparation et cuisson des aliments, le calcul d'exposition repose sur une approche probabiliste fondée sur 1000 tirages aléatoires des valeurs de contamination dans des distributions lognormales ajustées aux contaminations observées.

Résultats et discussion

L'échantillonnage sur le terrain des 45 aliments dans les 3 circuits a abouti à plus de 1500 prélèvements sur les deux îles, conduisant à l'analyse de plus de 700 échantillons composites.

Sur les deux îles, les produits de la pêche collectés en circuit informel présentent les plus fortes concentrations en chlordécone. Viennent ensuite les œufs collectés en circuit informel. Pour les denrées végétales et animales terrestres hors œufs, des concentrations inférieures à 11 µg/kg sont constatées, même en circuit informel. De par la nature non représentative des données historiques disponibles, l'évolution des niveaux de contamination des aliments dans le temps ne peut être estimée de manière robuste. Parallèlement, la concentration en chlordécol a pu être quantifiée seulement dans 6% des échantillons, tous issus de circuits informels.

En Guadeloupe, l'exposition moyenne des enfants de 3 à 15 ans est du même ordre de grandeur que celle des adultes de 16 ans et plus (0,022 µg/kg pc/j et 0,020 µg/kg pc/j respectivement). En Martinique, l'exposition moyenne des enfants est de 0,009 µg/kg pc/j et celle des adultes de 0,015 µg/kg pc/j. Pour les adultes et les enfants, le principal groupe d'aliments contributeurs à l'exposition est celui des poissons de mer en Guadeloupe et des crustacés d'eau douce en Martinique.

Sur les deux îles, plus un individu s'approvisionne en circuit formel et plus son niveau d'exposition baisse. Dans le circuit informel, le lien entre l'exposition et la zone d'approvisionnement (zone réputée non contaminée vs zone réputée contaminée) n'est pas significatif en Guadeloupe, mais l'est en Martinique. Il existe néanmoins des incertitudes importantes sur l'origine précise des aliments collectés en circuit informel.

Enfin, il n'a pas été possible de mettre en évidence un effet significatif de la cuisson sur le niveau de contamination des aliments, en raison d'incertitudes liés à la préparation et la cuisson des échantillons composites, de l'effet de cuisson limité des principaux modes de cuisson pratiqués par la population (Devriendt-Renault et al. 2023) et du manque de puissance statistique du dispositif d'échantillonnage ayant été mis en œuvre sur le terrain.

Références bibliographiques

Anses. 2017. Exposition des consommateurs des Antilles au chlordécone, résultats de l'étude Kannari. Maisons-Alfort. <https://www.anses.fr/fr/system/files/ERCA2014SA0029Ra.pdf>.

Anses 2022. Avis de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à la réévaluation des risques sanitaires prenant en compte la construction et la mise à jour de valeurs sanitaires de référence (externe et interne) du chlordécone. Maisons-Alfort. <https://www.anses.fr/fr/system/files/ERCA2018SA0166.pdf>.

Devriendt-Renault, Yoann, Félix Massat, Thierry Guérin, et Julien Parinet. 2023. « Impact of classical home cooking processes on chlordécone and chlordécol concentrations in animal products originated from French West Indies ». Food Control 152 (octobre): 109871. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109871>.

Dufour, A., S. Poisson, M. Ali, A. Fournier, S. Lemoine, C. Mejean, C. Roth, J.-L. Volatier, et M. Jannoyer. 2022. "ChlorExpo: intégration des habitudes et pratiques alimentaires de la population des Antilles dans l'évaluation de l'exposition alimentaire au chlordécone" Rencontres Chlordécone 2022- Chlordécone, Connaître pour Agir, Dec 2022, Le Gosier, Guadeloupe. anses-04178970.

Lambert, Marine, Fiona Lobo, Lénaïc Cabestant, Gwenaëlle Lavison-Bompard, Jean-Charles Leblanc, Chanhadary Inthavong, 2026, Développement d'une méthode d'analyse sensible et rapide du chlordécone et du chlordécol dans des matrices alimentaires crues et cuites, Abstract pour le colloque Chlordécone, comprendre et agir

Martin, Deborah, Fiona Lobo, Gwenaëlle Lavison-Bompard, Thierry Guérin, et Julien Parinet. 2020. « Effect of Home Cooking Processes on Chlordécone Content in Beef and Investigation of Its By-Products and Metabolites by HPLC-HRMS/MS ». *Environment International* 144 (novembre): 106077. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106077>

De Kannari à Kannari 2 : enseignements, évolution méthodologique et perspectives

Cécile Martias¹*, Abdessattar Saoudi¹, Clémentine Dereumeaux¹, Marie Pecheux¹, Corinne Delamaire¹, Pascal Jehanin¹, Hector Juliard¹, Frank Assogba¹, Marc Ruello¹, Vanessa Cornely¹, Jacques Rosine¹

¹ Santé publique France

* cecile.martias@santepubliquefrance.fr

◆ Messages-clés :

- Kannari 2 est une évolution directe de Kannari construite à partir de ses principaux enseignements
- Le renforcement méthodologique a permis une amélioration significative de la participation adulte
- L'approche multi-exposition offre une vision plus réaliste et plus complète de l'imprégnation environnementale
- Les résultats de Kannari 2 constituent un levier essentiel pour la santé publique aux Antilles

Mots-clés : *chlordécone, biosurveillance, expositions environnementales, population générale, Antilles Françaises*

Contexte et enjeux

Le chlordécone est un pesticide organochloré utilisé aux Antilles françaises entre 1972 et 1993, responsable d'une contamination durable des sols et des milieux aquatiques. L'étude Kannari (2013-2024) a constitué la première enquête populationnelle visant à estimer l'imprégnation des adultes par le chlordécone en Guadeloupe et en Martinique, révélant une exposition quasi généralisée de la population adulte et identifiant des déterminants alimentaires et professionnels majeurs. Dix ans après, dans un contexte de persistance de la contamination et d'attentes fortes en matière de santé publique, l'étude Kannari 2 a été conçue pour évaluer l'évolution de l'imprégnation, élargir le champ des polluants étudiés et renforcer la compréhension des facteurs d'exposition.

Matériel et méthodes

Kannari 2 est une enquête transversale menée entre janvier et juillet 2024 en Guadeloupe et en Martinique au domicile des participants. Elle visait l'inclusion de 1 150 adultes et de 350 enfants (6-17ans) par territoire. La méthodologie s'appuie sur les enseignements de Kannari et a été renforcée par l'enrichissement des questionnaires (données socio-démographiques, alimentation, mode de vie, loisirs, expositions professionnelles), la réalisation de mesures anthropométriques. De plus la collecte et les prélèvements biologiques pour le dosage de la chlordécone et d'autres polluants environnementaux sont obligatoires. Une organisation en plusieurs rendez-vous (recrutement, infirmier, enquêteur) a été mise en place afin d'améliorer l'acceptabilité et la participation.

Résultats et discussion

Kannari 2 se caractérise par une amélioration notable des taux de participation chez les adultes par rapport au module imprégnation de Kannari, atteignant 35 % en Guadeloupe et 34 % en Martinique, traduisant une meilleure mobilisation des populations et une acceptabilité renforcée du dispositif. Des disparités de participation persistent selon le sexe et les catégories socio-professionnelles, tandis que l'inclusion des enfants reste en deçà des objectifs attendus. Les choix méthodologiques opérés dans Kannari 2 répondent directement aux limites identifiées lors de Kannari et permettent d'envisager des analyses plus fines, intégrant une approche multi-exposition et une meilleure caractérisation des déterminants. Les résultats analytiques détaillés sont disponibles à partir de juin 2026 et contribueront à orienter les politiques de prévention et de surveillance environnementale.

Premiers résultats de l'enquête Kannari 2

Marc Ruello¹*, Cécile Martias¹, Abdessattar Saoudi¹, Clémentine Dereumaux¹, Marie Pecheux¹, Corinne Delamaire¹, Pascal Jehannin¹, Hector Juliard¹, Vanessa Cornely¹, Jacques Rosine¹

¹ Santé publique France

* marc.ruello@santepubliquefrance.fr

♦ Messages-clés :

- L'imprégnation au chlordécone reste généralisée en Martinique et en Guadeloupe : plus de 80 % des adultes sont concernés sur chaque territoire.
- Chez les 50 ans et plus, ainsi que chez les agriculteurs et les pêcheurs, l'imprégnation est plus marquée.
- Kannari 2 offre ainsi des données essentielles pour guider les actions de santé publique

Mots-clés : *chlordécone, biosurveillance, expositions environnementales, population générale, Guadeloupe, Martinique*

Contexte et enjeux

Le chlordécone, pesticide organochloré utilisé aux Antilles françaises entre 1972 et 1993, a laissé une empreinte durable sur les sols et les milieux aquatiques, avec des conséquences sanitaires majeures pour les populations locales. La première étude Kannari (2013-2014) a révélé une imprégnation quasi généralisée des adultes, avec des niveaux dépassant la valeur toxicologique de référence interne (VTRi) pour respectivement 14 % et 25 % des adultes en Guadeloupe et Martinique. Fort de ce constat et dans le cadre du Plan Chlordécone IV (2021-2027), l'étude Kannari 2 a été conçue pour évaluer l'évolution de cette imprégnation, identifier les déterminants actuels et élargir l'analyse à des sous-populations spécifiques telles que les pêcheurs, les travailleurs agricoles et les femmes enceintes notamment. Elle a également été conçue pour disposer, pour la première fois en Guadeloupe et en Martinique, d'une estimation des niveaux d'imprégnation à d'autres polluants de l'environnement (métaux lourds, autres pesticides). Cette nouvelle édition répond à plusieurs enjeux : mesurer l'impact des actions passées, élargir les dosages à d'autres polluants et affiner les stratégies futures de prévention et de gestion des risques.

Matériel et méthodes

Kannari 2, menée de janvier à juillet 2024, repose sur une méthodologie repensée pour approfondir et élargir l'analyse de l'imprégnation aux polluants par rapport à la première édition. En premier lieu, la collecte biologique s'est étendue en visant 1 150 adultes et 350 enfants par territoire, et est devenue obligatoire conditionnant la participation à l'étude alors qu'elle était facultative dans Kannari 1. Par ailleurs, le protocole de Kannari 2 a permis d'optimiser la collecte en réalisant les prélèvements biologiques (sang et urines) avant la passation du questionnaire, réduisant ainsi les abandons observés dans Kannari 1. Le repérage préalable des adresses a permis d'optimiser le travail des équipes sur le terrain. Les questionnaires ont été enrichis pour couvrir en détail les expositions alimentaires potentielles (avec une description précise des consommations de poissons par exemple), les expositions professionnelles, les modes de vie, ainsi que les connaissances et perceptions du risque. Une étude pilote a permis de valider le protocole et de tester le matériel, garantissant une collecte de données plus fluide et robuste. Enfin, l'élargissement du dosage à d'autres polluants (glyphosate, métaux lourds, etc.) offre une vision plus complète des expositions de la population antillaise.

Résultats et discussion

Avec plus de 1 100 prélèvements réalisés en Guadeloupe (1 187) et en Martinique (1 152), l'étude Kannari 2 permet d'atteindre les objectifs fixés en termes de participation et assure la robustesse des indicateurs produits. Les résultats préliminaires montrent que l'imprégnation au chlordécone reste généralisée en Martinique et en Guadeloupe, avec des niveaux comparables à ceux de l'étude Kannari 1 : plus de 80 % des adultes sont concernés sur chaque territoire avec des disparités marquées en Guadeloupe entre la Basse-Terre et la Grande-Terre. Les moyennes géométriques estimées s'élèvent à 0,09 µg/L en Martinique et 0,06

µg/L en Guadeloupe, avec une imprégnation plus marquée chez les 50 ans et plus, ainsi que chez les agriculteurs et les pêcheurs. Ces résultats soulignent l'importance de poursuivre les efforts de prévention. L'analyse d'autres polluants, inédite pour ces territoires, permet de disposer de premières données d'imprégnation essentielles pour affiner les politiques de santé publique et cibler les populations les plus à risque d'exposition.

Références bibliographiques

Dereumeaux C, Saoudi A. S Imprégnation de la population antillaise par la chlordécone et certains composés organochlorés en 2013/2014. Étude Kannari ; Saint-Maurice : Santé publique France, 2018. 86 p. Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr

SESSION 2 – LES IMPACTS : SANTÉ HUMAINE, ÉCOSYSTÈMES, APPROCHE ONE HEALTH

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA SESSION 2

 [visualiser la vidéo](#)

 [visualiser la présentation](#)

Exposome : état des lieux depuis 2022, enjeux et perspectives

Michel Samson (Inserm, Irset, VP Santé CPSN)

L'un des principaux enseignements du colloque scientifique de 2022 était la nécessité de ne plus considérer la chlordécone de manière isolée, mais de la replacer dans l'ensemble des expositions – l'« exposome » – auxquelles les populations antillaises sont confrontées tout au long de leur vie. Cette approche conduit à dépasser une lecture « mono-polluant » pour prendre en compte les co-expositions, les effets cocktails et leurs dimensions physiques, chimiques, biologiques, mais aussi socio-économiques et socioculturelles.

Elle implique également de considérer les spécificités des territoires antillais et de mieux articuler les données relatives aux sources et aux niveaux d'exposition – alimentation, pollution de l'air, contamination environnementale – avec les données de santé. Cette démarche intégrée rejoint l'approche « One Health », qui considère conjointement la santé humaine, animale, végétale et celle des écosystèmes.

Depuis 2022, les recherches menées aux Antilles témoignent d'avancées dans cette direction. Les travaux présentés lors de cette nouvelle édition s'appuient notamment sur de nouvelles données d'exposition et sur la poursuite de cohortes antillaises, concernant les travailleurs de la banane, les couples mère-enfant ou certaines pathologies. L'ouverture croissante aux multi expositions et aux sciences humaines et sociales contribue également à élargir la compréhension des déterminants de l'exposition et de leurs effets. Ces avancées soulignent enfin les défis qui restent à relever pour intégrer des données de nature diverse et mieux caractériser les conséquences à long terme des expositions multiples sur la santé et les écosystèmes.

CONFÉRENCE INTRODUCTIVE DE LA SESSION 2

 [visualiser la vidéo](#)

 [visualiser la présentation](#)

Spécificités de l'Exposome en contexte antillais

Moana Gélou-Siméon (CHU de Guadeloupe)

1. Introduction

L'exposome désigne l'ensemble des expositions environnementales auxquelles un individu est soumis de sa conception à sa mort : agents chimiques, physiques, biologiques, comportementaux et psychosociaux (Wild, 2005, 2012). Aux Antilles françaises, la convergence d'une contamination historique au chlordécone, d'échouages récurrents de sargasses, d'inégalités socio-économiques héritées de la période coloniale et de spécificités biologiques propres aux populations afro-caribéennes confère à cet exposome une dimension scientifique et de santé publique singulière.

2. Agents chimiques : chlordécone, pesticides et perturbateurs endocriniens

L'étude Kannari a permis de détecter du chlordécone chez 95 % des Guadeloupéens et 92 % des Martiniquais (Dereumeaux et al., 2020). Multigner et al. (2010) ont établi une association avec le cancer de la prostate, dont l'incidence aux Antilles est parmi les plus élevées au monde. La cohorte TIMOUN a documenté des effets sur la grossesse (Kadhel et al., 2014), le développement neurocognitif (Boucher et al., 2013) et la fécondité des filles de la cohorte (Ben-Fares et al., 2025). Les perturbateurs endocriniens associés (phtalates, bisphénols) aggravent ces effets en altérant la reproduction et les fonctions thyroïdiennes. Pour le cancer du poumon, une proportion plus élevée d'adénocarcinomes qu'en Hexagone est observée, en lien avec des expositions professionnelles spécifiques (Cabrera et al., 2022).

3. Agents physiques : pollution de l'air et sargasses

La pollution atmosphérique résulte de sources locales (trafic, industrie) et de brumes de sable saharien aux effets cardiovasculaires et respiratoires documentés. Depuis 2011, les sargasses constituent une exposition émergente multi-composante : leur décomposition libère H_2S et NH_3 , gaz aux effets aigus (céphalées, dyspnée) et chroniques potentiels sur les systèmes respiratoire, cardio-vasculaire et nerveux. Une augmentation des consultations médicales relevant de symptômes en lien avec ces pathologies sont constatées par les médecins sentinelles lors des épisodes d'échouage en Guadeloupe et Martinique (Gros et al., 2019 ; Bateau et al., 2022).

4. Agents biologiques : profil infectieux spécifique

Arboviroses

La dengue sévit de manière quasi-endémique avec 4 sérotypes en co-circulation. La séroprévalence atteint 93,5 % des adultes (90,7 % en Martinique, 96,2 % en Guadeloupe), dont 80 % réactifs aux quatre sérotypes. Cette hyperimmunisation expose à des formes plus sévères lors de réinfections hétérologues (L'Azou et al., 2015).

Parasitoses

L'anguillulose (*Strongyloides stercoralis*) est la parasitose dominante, présente chez 51,7 % des sujets parasités au CHU de Fort-de-France, et 72-82 % des helminthes identifiés au CHU de Pointe-à-Pitre. Sa capacité d'auto-infestation permet une persistance indéfinie, avec risque de forme maligne fatale en cas d'immunodépression. Les ankylostomias complètent le tableau tandis que la bilharziose est éradiquée mais continue à provoquer séquelles hépatiques. Chez les patients VIH+, *Cryptosporidium* et *Isospora belli* sont les agents opportunistes principaux (Edouard et al., 2004 ; Nicolas et al., 2004).

VIH, HTLV-1, hépatites virales et leptospirose

Les taux de positivité VIH sont parmi les plus élevés de France (6,3 % en Martinique, 5,8 % en Guadeloupe), avec une prédominance de la transmission hétérosexuelle et diagnostics tardifs fréquents (SPF, 2024). Le HTLV-1 est endémique avec 2,2 % chez les donneurs de sang en Martinique (vs 0,08 % en Hexagone). La co-infection HTLV-1/ *Strongyloides stercoralis* est particulièrement délétère, le HTLV-1 altérant la réponse Th2 protectrice contre les helminthes (Césaire et al., 2006 ; Olindo et al., 2018). Les Antilles sont placées en zone de moyenne endémie pour le VHB (prevalence en population générale estimée à 1.5% en Guadeloupe en 2014) (Gelu-Simeon et al, 2014). La leptospirose atteint 60-69 cas/100 000 hab., soit 100 fois plus qu'en Hexagone (Cassadou et al., 2016).

5. Facteurs socio-économiques et comportementaux

34,5 % de la population guadeloupéenne vit sous le seuil de pauvreté (2020) ; le chômage atteint 18,6 % en 2022, plus du double du taux national. Ces inégalités amplifient l'exposition aux nuisances et limitent le recours aux soins. La prévalence du diabète connu est de 12 % et celle de l'hypertension artérielle de 29,9 %, respectivement deux fois et 1,5 fois les valeurs hexagonales (Hernández et al., 2023 ; Olié et al., 2023). La surcharge pondérale touche 57 % des Guadeloupéens, dans un contexte d'alimentation pauvre en fruits et légumes, de contraintes insulaires et de restrictions alimentaires, en lien au moins partiellement avec les craintes de contamination au chlordécone (Castetbon et al., 2016).

6. Héritage colonial, stress psychosocial et épigénétique

Le contexte socio-historique antillais introduit une dimension épigénétique dans l'exposome. Les travaux de Danese & McEwen (2012) montrent que la discrimination, la précarité et le stress chronique hérités de l'esclavage peuvent induire des modifications épigénétiques (méthylation de l'ADN) transmissibles entre générations.

7. Perspectives

Trois axes s'imposent : (i) des cohortes exposomiques caribéennes intégrant multi-expositions et susceptibilités génétiques ; (ii) l'intégration des sciences humaines et sociales dans les protocoles d'évaluation ; (iii) la création d'un observatoire caribéen de l'exposome sur données interoperables pour éclairer des politiques de prévention.

Références bibliographiques

1. Ben-Fares M et al. (2025). Chlordecone exposure and time to pregnancy. *Environ Health*, 24:78.
2. Blateau A et al. (2022). Expositions aux sargasses et effets sanitaires 2018-2021. *Bull Epidémiol Hebd*, 12, 235-244.
3. Boucher O et al. (2013). Chlordecone and development of 18-month-old infants. *NeuroToxicology*, 35, 162-168.
4. Cabrera L, et al. (2022). Lung Cancer in the French West Indies: Role of Sugarcane Work and Other Occupational Exposures. *Int J Environ Res Public Health*.19:13444.
5. Cassadou S et al. (2016). Underestimation of leptospirosis incidence in the French West Indies. *PLoS Negl Trop Dis*. 29;10:e0004668.
6. Castetbon K et al. (2016). Consommations alimentaires en Guadeloupe et Martinique. *Bull Epidémiol Hebd*, 4, 52-62.
7. Césaire R et al. (2005). HTLV-1 Et Maladies Associées Aux Antilles Et En Guyane. *Revue Francophone des Laboratoires*, 374, 35-44.
8. Danese A, McEwen BS (2012). Adverse childhood experiences, allostasis, allostatic load. *Physiol Behav*, 106, 29-39.
9. Dereumeaux C et al. (2020). Chlordécone aux Antilles : de la caractérisation de la contamination alimentaire à l'imprégnation des individus. Résultats de l'étude Kannari 2013-2014. *Bull Epidémiol Hebd*, 18-19, 370-378.
10. Edouard A, et al 2004. Evolution de la prévalence des parasitoses digestives au CHU de Fort-de-France (Martinique) *Presse Med*. 19;33:707-9.
11. Gelu-Simeon M, et al. (2014). Seroepidemiology of chronic hepatitis B and C in the French Caribbean Island of Guadeloupe. *BMC Res Notes*. 21;7:55.
12. Gros H et al. (2019). Health effects of H₂S during Sargassum events. *Int J Environ Res Public Health*, 16(4), 536.
13. Hernández H et al. (2023). Prévalence du diabète dans les DROM. *Bull Epidémiol Hebd*, 20-21, 424-431.
14. Kadhel P et al. (2014). Chlordecone exposure and risk of preterm birth. *Am J Epidemiol*, 179, 536-44.
15. L'Aizou M, et al. (2015). Dengue seroprevalence in the French West Indies: a prospective study in adult blood donors. *Am J Trop Med Hyg*. 92:1137-1140.
16. Multigner L et al. (2010). Chlordecone exposure and risk of prostate cancer. *J Clin Oncol*, 28, 3457-3462.
17. Nicolas M, et al. (2006). Diagnostic des parasitoses intestinales au CHU de la Guadeloupe: evolution de 1991 a 2003. *Bull Soc Pathol Exot*. 2006 Oct;99:254-7.
18. Olié V et al. (2023). HTA déclarée dans les DROM. *Bull Epidémiol Hebd*, 8, 138-147.
19. Olindo S, et al. (2018). Temporal trends in Human T-Lymphotropic virus 1 (HTLV-1) associated myelopathy/tropical spastic paraparesis (HAM/TSP) incidence in Martinique over 25 years (1986-2010). *PLoS Negl Trop Dis*. 12(3):e0006304.
20. Santé publique France (2024). VIH et IST bactériennes en Martinique et Guadeloupe — Bilan 2023-2024.
21. Wild CP (2005). Complementing the genome with an 'exposome'. *Cancer Epid Biomark Prev*, 14, 1847-1850.
22. Wild CP (2012). The exposome: from concept to utility. *Int J Epidemiol*, 41, 24-32.

L'oursin, *Paracentrotus lividus* un modèle de choix pour étudier les effets cocktails de chlordécone associée à d'autres polluants

Ouafa El Idrissi², Calli Paul¹, Amelia Huet², Camille Jeanton¹, Virgile Calvert¹, Karim Benbrahim¹, Patricia Bremond¹, Maxime Robin¹, Magalie Claeys Bruno¹, Pascal Mirleau¹, Sonia Ternengo², Pierre-Henri Villard¹

¹ IMBE, UMR CNRS 7263, IRD 237, Aix Marseille Université, Avignon Université, Marseille, France

² Stella Mare, UMR CNRS 6134 SPE/UAR CNRS 3514, Università di Corsica Pasquale Paoli, Corte, France

* pierre.villard@univ-amu.fr

♦ Messages-clés :

- L'oursin, *P. lividus* utilisé comme modèle de choix alternatif en écotoxicologie.
- Les effets cocktails ne peuvent être extrapolés à partir d'études sur composés isolés.
- Alerte pour des risques chez l'Homme (cancer du sein, l'obésité et le diabète de type 2).

Mots-clés : Chlordécone, perturbateur endocrinien, effet cocktail, oursin

Contexte et enjeux

Les activités anthropiques ont conduit à une pollution chimique de l'environnement qui a des conséquences en termes de santé unique (One Health). Les êtres vivants sont exposés de façon chronique à de faibles concentrations de polluants. La prédiction des effets de ces mélanges à partir de données obtenues sur des molécules isolées s'avère extrêmement délicate, notamment pour les perturbateurs endocriniens (PE) qui présentent des relations dose-réponses non monotones et peuvent avoir des effets plus marqués à faibles concentrations. Divers polluants ont été mis en évidence dans les eaux de surface aux Antilles françaises, dont le principal est la chlordécone (CLD). Cet insecticide organochloré, qui a été utilisé de 1973 à 1993 dans la lutte contre le charançon du bananier, est un polluant organique persistant (POP) car son usage a conduit à une contamination encore actuelle de l'environnement (jusqu'à 20 µg/L dans les eaux de surface). Les analyses des eaux montrent la présence à moindre concentrations d'acide aminométhylphosphonique (AMPA) produit de dégradation du glyphosate (herbicide), d'azoxystrobine (AZ, anti-fongique) et de propylparabène (PPB, conservateur largement utilisé dans l'industrie agroalimentaire). Pour évaluer les effets de ces cocktails de polluants sur les organismes aquatiques en respectant des directives européennes visant à remplacer les modèles rongeurs par des modèles invertébrés alternatifs¹, nous nous sommes intéressés à l'oursin violet *Paracentrotus lividus*. Ce modèle partage environ 70 % de ses gènes avec l'homme, dont certains impliqués dans la réponse endocrine et présente un développement embryo-larvaire particulièrement sensible aux polluants². Nous avons considéré ce modèle pour évaluer l'impact de cocktails de polluants (CLD, AMPA, AZ, PPB) tant sur le développement embryo-larvaire, que sur l'expression de gènes cibles conservés lors de l'évolution chez l'oursin juvénile.

Matériel et méthodes

Des individus de *P. lividus* ont été collectés en période de reproduction dans le Cap Corse. Après une fécondation contrôlée, les œufs ont été répartis dans 15 bassins expérimentaux et exposés à un mélange de trois pesticides (CLD, AMPA, AZ) à différentes concentrations environnementales. À partir du quatrième jour, des prélèvements quotidiens ont permis de suivre le développement larvaire (stades 4, 6 et 8 bras), d'effectuer des mesures biométriques (longueur/largeur du corps, longueur des bras, longueur totale) et de classer les malformations selon une version adaptée de Gambardella et al. (2021). Un indice d'impact des contaminants (IIC) a été calculé pour quantifier les effets des mélanges sur les larves. Parallèlement, des juvéniles élevés en conditions contrôlées sans polluants, ont été exposés pendant 14 jours à sept combinaisons de concentrations environnementales de CLD et de PPB, définies au moyen d'un plan d'expériences Doehlert (Azurad®). Suite à l'extraction de l'ARN des gonades, des mesures d'expression génétique par PCR quantitative ont été entreprises ciblant le stress oxydant, la détoxification, la croissance, la reproduction, la signalisation endocrine, les cytokines, la mort cellulaire, la neurotoxicité et la méthylation de l'ADN.

Résultats et discussion

Les expositions aux mélanges de pesticides ont entraîné un ralentissement du développement larvaire, marqué par un retard dans la transition entre les stades 4, 6 et 8 bras. Certains traitements (CLD à faible concentration associée à de l'AMPA et de l'AZ à faible ou moyenne concentrations ; CLD, AMPA et AZ à moyenne concentrations) ont provoqué les effets les plus prononcés, suggérant des interactions synergiques entre contaminants. Les malformations observées, généralement légères à modérées, concernaient principalement la longueur totale des larves et celle de leurs bras. Certaines combinaisons ont induit des réductions significatives aux stades 6 et 8 bras, tandis que d'autres ont entraîné des augmentations transitoires. L'indice ICI variait de 0,069 à 0,917, indiquant une sensibilité variable selon les stades de développement et les traitements. Même modérées, ces altérations morphologiques sont susceptibles d'affecter la nage et la capture alimentaire des larves, impactant ainsi leur survie et le recrutement des populations. Au niveau moléculaire, les mélanges CLD et de PPB ont modulé l'expression des gènes avec des relations concentration-dépendante généralement non monotones, caractéristiques des PE. L'expression de certains gènes était principalement modulée soit par la CLD, ou par le PPB (GST), ou par les deux composés. Ces inductions (i) témoignent d'un stress oxydatif et d'une activation des voies de détoxification, (ii) correspondent au risque observé de l'augmentation des cancer de la prostate associé à la CLD³, (iii) suggèrent un risque augmenté de cancer du sein, comme suspecté pour les parabènes, (iv) indiquent des effets sur la croissance et le développement, (v) révèlent une probable atteinte thyroïdienne, cohérente avec les données épidémiologiques sur la CLD et les parabènes, (vi) témoignent d'une perturbation de l'homéostasie lipidique et glucidique, comme établis pour l'exposition aux parabènes et (vii) implique des risques d'obésité ou de diabète de type 2⁴. Nos résultats démontrent que l'oursin est un modèle de choix pour étudier les effets de concentrations environnementales de mélanges de polluants et pourrait servir de sentinelle. Les voies de signalisation impactées sont cohérentes avec les données épidémiologiques, suggérant que ce modèle pourrait être utile pour alerter sur les risques sur la santé humaine.

Ce travail a été financé par l'ANR LiCOCO (ANR-22-CHLD-0002).

Références bibliographiques

- ¹ Gambardella C, et al. (2021) Early-stage anomalies in the sea urchin (*Paracentrotus lividus*) as bioindicators of multiple stressors in the marine environment: Overview and future perspectives. *Environmental Pollution*, 287, 117608.
- ² El Idrissi O, et al. (2022) Effects of trace elements contaminations on the larval development of *Paracentrotus lividus* using an innovative experimental approach. *Aquatic Toxicology*, 246, 106152.
- ³ Chlordécone, connaître pour agir. Point de situation 2023 en Martinique. CPSN, 2025.
- ⁴ Ramalho A, et al. (2025) Parabens exposure and its impact on diabetes. *Toxicology*. 515:154125.

Exposition des femmes au chlordécone et délai nécessaire à concevoir : Résultats de la cohorte Timoun en Guadeloupe

Maryem Ben-Fares¹, Léah Michineau¹, Christine Monfort¹, Philippe Kadhel³, Nathalie Costet¹, Florence Rouget², Jean-Pierre Thomé¹, Gulen Ayhan³, Sylvaine Cordier¹, Luc Multigner¹, Charline Warembourg¹, **Ronan Garlandezec^{2*}**

CW et RG ont co-dirigé ce travail.

¹ Univ Rennes, Inserm, EHESP, Irset – UMR_S 1085, Rennes F-35000, France

² Univ Rennes, CHU Rennes, Inserm, EHESP, Irset – UMR_S 1085, Rennes F-35000, France

³ CHU Guadeloupe

* ronan.garlandezec@chu-rennes.fr

◆ Messages-clés :

- Plusieurs études animales ont rapporté un impact du chlordécone sur la fertilité des femelles, cependant dans l'espèce humaine aucune étude n'a étudié l'impact du chlordécone sur la fertilité des femmes
- Le chlordécone était détecté dans 91% des échantillons sanguins des femmes enceintes de la cohorte Timoun.
- Les niveaux sanguins de chlordécone étaient associés à un allongement du délai nécessaire à concevoir avec une relation dose-dépendante.

Mots-clés : chlordécone, délai nécessaire à concevoir, fécondabilité, modèle de Cox à temps discret, Antilles françaises

Contexte et enjeux

Le chlordécone est un pesticide organochloré qui a été largement utilisé pour lutter contre le charançon du bananier aux Antilles françaises jusqu'en 1993. Des études animales ont rapporté un impact de l'exposition au chlordécone sur l'ovulation et la diminution de la réserve ovarienne entraînant une baisse globale la fertilité féminine. Cependant aucune donnée n'est disponible pour l'espèce humaine. Le délai est un indicateur de fertilité largement utilisé en épidémiologie. Il est défini comme la période comprise entre l'arrêt de la contraception et la confirmation clinique d'une grossesse chez un couple qui souhaite avoir un enfant et qui a des rapports sexuels réguliers. Le DNC sert à estimer la fécondabilité, définie comme la probabilité de conception au cours d'un mois ou d'un cycle menstruel. L'objectif de ce travail était d'étudier l'association entre l'exposition au chlordécone chez les femmes et le délai nécessaire à concevoir (DNC).

Matériel et méthodes

Notre étude s'est appuyée sur les données de 668 femmes de la cohorte mère-enfant Timoun qui étaient enceintes entre 2004 et 2007 en Guadeloupe. Le DNC a été mesuré à l'aide d'un questionnaire lors de la visite d'inclusion. Les concentrations de chlordécone ont été mesurées dans les échantillons de sang maternel prélevés au moment de l'accouchement par chromatographie en phase gazeuse à haute résolution associée à une détection par capture d'électrons, avec une limite de détection (LOD) de 0,02 µg/L. Un modèle de Cox à temps discret a été utilisé pour estimer les odds ratios de fécondabilité (fOR) et leurs intervalles de confiance à 95 % (IC 95 %) ajustés sur les facteurs de confusion potentiels. Des analyses de sensibilité ont été réalisées en modifiant la population d'étude et les critères de censure.

Résultats et discussion

Le chlordécone était détecté chez 91 % de la population étudiée, avec une concentration médiane de 0,3 µg/L (IQR : 0,1-0,7). Les troisième et quatrième quartiles d'exposition au chlordécone étaient associés à une fécondabilité significativement plus faible (fORa [IC 95 %] = 0,76 [0,58, 0,99] ; fORa [IC 95 %] = 0,72 [0,55, 0,95], respectivement). Une relation dose-dépendante significative a été observée entre l'exposition au chlordécone et le DNC (p-tendance = 0,01). Des résultats similaires ont été observés dans toutes les analyses de sensibilité, à l'exception de celle concernant les femmes primipares. Il s'agit de la première étude visant à examiner la relation entre l'exposition au chlordécone et le délai d'implantation chez les femmes. Notre étude soutient l'hypothèse selon laquelle le chlordécone affecte la fertilité des femmes. Des

études complémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats. Nos résultats sont en effet concordants avec ceux des études expérimentales chez l'animal. Le DNC évalue la fertilité du couple et représente l'étape finale commune de nombreux processus biologiques chez la femme (par exemple, la réserve ovarienne) et chez l'homme (par exemple, la qualité du sperme). Ce DNC peut être influencé par des facteurs présents chez l'un ou l'autre des partenaires. Une étude menée réalisée à une période proche par notre équipe de recherche auprès de la population masculine de la Guadeloupe n'a révélé aucune association significative entre la concentration sanguine de chlordécone et les paramètres spermatiques. Il est par conséquent peu probable que la non prise en compte des concentrations de chlordécone dans le sang des pères dans notre étude soit un facteur affectant les résultats. Toutes les analyses de sensibilité, à l'exception de l'analyse limitée au primipare, ont confirmé les résultats de l'analyse principale. Les résultats contradictoires obtenus dans l'analyse limitée aux femmes primipares sont probablement liés à l'échantillon restreint, avec seulement un tiers de la population de l'analyse principale, ce qui concorde avec l'absence d'associations pour cet échantillon avec les autres facteurs connus pour impacter le DNC (âge élevé, tabagisme, IMC élevé). Il serait intéressant de poursuivre les recherches sur ce sujet pour confirmer les résultats. Ces études pourraient porter sur le suivi prospectif de couples qui envisagent une grossesse ou sur l'étude des causes potentielles de l'infertilité féminine, telles que la diminution de la réserve ovarienne, comme le suggèrent les études toxicologiques sur le chlordécone.

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêt.

Quantification de la chlordécone dans le liquide folliculaire des femmes guadeloupéennes et corrélation avec la matrice sérique

Loana Shitalou¹, Catherine Morinière³, Martin Jaudronnet², Reggie Lanoir¹, Andric Gelasse¹, Sarah Lennon², Léah Michineau², Sandra Boyer-Kassem³, Ronan Garlandezec², Mailie Saint-Hilaire^{1*}

¹ Institut Pasteur de Guadeloupe, Laboratoire C2AS (Chimie Analytique Appliquée à la Santé), F-97139 Les Abymes

² Univ Rennes, Inserm, EHESP, Irset (Institut de Recherche en Santé, Environnement et Travail) – UMR_S 1085, F-35000, Rennes, France

³ Service d'aide médicale à la procréation CHU de la Guadeloupe

* msaint-hilaire@pasteur-guadeloupe.fr

◆ Messages-clés :

- La chlordécone a été quantifiée pour la première fois dans du liquide folliculaire
- Une méthode de type QuEChERS-LC-MS/MS a pu être validée pour le dosage de la chlordécone dans le liquide folliculaire selon la norme V03-110
- Des corrélations significatives ont été obtenues entre les matrices liquide folliculaire et sérique pour la chlordécone

Mots-clés : liquide folliculaire, chlordécone, corrélation, sérum, femmes

Contexte et enjeux

Aux Antilles françaises, la chlordécone (CLD) a été largement utilisée pour lutter contre le charançon noir du bananier (*Cosmopolites sordidus*) de 1972 à 1993 (Procaccia et Le Déaut, 2009). Ce pesticide est considéré comme un polluant organique persistant. Bien que la CLD ait été associée à une altération de la fertilité féminine chez l'animal, avec un impact sur la réserve ovarienne (ATSDR, 2020), ce sujet a été peu étudié chez l'humain. Une seule étude récente, menée au sein de la cohorte guadeloupéenne Timoun (1071 femmes enceintes incluses entre 2004 et 2007 à la visite du 2^{ème} ou 3^{ème} trimestre), à des niveaux d'exposition environnementale, a montré que des taux élevés de chlordécone (CLD) étaient associés à un allongement du délai nécessaire à concevoir, selon une relation dose-réponse (Ben-Fares et al., 2025). Face à la nécessité de poursuivre les recherches, l'étude KARU-FERTIL a été lancée en 2024 afin d'étudier plus précisément l'association entre la CLD et l'infertilité féminine. Dans le cadre de ce projet, les objectifs étaient (1) de développer une méthode de type QuEChERS-LC-MS/MS pour doser la CLD dans le liquide folliculaire (LF) (2) de doser la CLD dans 54 échantillons de LF et de sérum (3) d'étudier la corrélation entre la concentration de chlordécone dans le sérum et celle dans le liquide folliculaire.

Matériel et méthodes

L'étude KARU-FERTIL inclue depuis février 2024, des femmes consultant pour infertilité du couple en Guadeloupe. Au moment de l'inclusion dans l'étude, les femmes répondent à un questionnaire détaillé, les antécédents médicaux et notamment concernant l'infertilité sont recueillis. Lors de cet entretien, un prélèvement de sang est réalisé. Parmi les femmes incluses dans cette étude et bénéficiant d'une fécondation in vitro, le LF est systématiquement prélevé lors de la ponction ovocytaire (tube de 10 mL). 54 femmes incluses dans cette étude avec prélèvement de LF font parties de cette présente analyse. Après réception, les échantillons de LF ont été centrifugés à 2600 rcf pendant 15 minutes. Pour doser la CLD dans le LF, une méthode de type QuEChERS-LC-MS/MS a été appliquée et validée. Brièvement, 70 µL de ¹³C₁₀-CLD à 357 µg/L ont été ajoutés à 2 mL de LF dans un tube à centrifuger de 50 mL. Par la suite, de l'acétonitrile (ACN) a été ajouté. Le mélange était ensuite vortexé et centrifugé pendant 5 min à 4000 tr/min. De l'eau Milli-Q a été ajoutée au surnageant lui-même transvasé dans un nouveau tube de 50 mL. Un sachet de sels QuEChERS est introduit dans le tube qui est à nouveau agité et centrifugé pendant 5 min à 4000 tr/min. Le surnageant est récupéré et placé dans des vials pour l'injection par LC-MS/MS (Altis Plus, Thermofisher). Les échantillons de sérum ont été analysés à l'aide de la méthode Saint-Hilaire et al. (2023). Afin d'évaluer la corrélation entre la concentration dans la matrice LF et le sérum, un coefficient de corrélation de Spearman a été calculé avec la p-value correspondante. Un p value inférieure à 0.05 a été considérée comme significative.

Résultats et discussion

La méthode de dosage de la CLD dans le LF a été validée selon la norme V03-110 et le guide SANTE pour l'analyse des pesticides. La limite de détection est fixée à 0.02 µg/L et la limite de quantification à 0.06 µg/L de LF. Une incertitude de mesure de 18% a été obtenue. Pour les 54 LF analysés, la CLD a été non détectée dans 7 échantillons (<0.02 µg/L), détectée dans 37 échantillons (entre 0.02 et 0.06 µg/L) et quantifiée (> à 0.06 µg/L) dans 10 échantillons. La concentration maximale en CLD obtenue dans le LF est de 0.63 µg/L. Pour les 54 sérums analysés, la CLD a été non détectée dans 17 échantillons (<0.02 µg/L), détectée dans 17 échantillons (entre 0.02 et 0.06 µg/L) et quantifiée (> à 0.06 µg/L) dans 20 échantillons. La concentration maximale en CLD obtenue dans le sérum est de 0.93 µg/L. Des corrélations significatives ont été obtenues entre les matrices LF et sérum. Un coefficient R de Sperman de 0.57 a été obtenu (p-valeur <0.001). Le même test a été réalisé en restreignant l'analyse aux femmes pour lesquelles les échantillons de LF et de sérum étaient recueillis avec un délai de moins de 2 mois entre les prélèvements de LF et de sérum. Le coefficient de Sperman était alors de 0.89 (p-valeur <0.001). Ce travail permet, pour la première fois, de quantifier la CLD dans le LF avec une très bonne corrélation avec les niveaux dans le sang. Cette corrélation est encore plus importante lorsque les prélèvements sont proches dans le temps. Cette quantification dans le sang et dans le LF sera étudiée dans la suite du projet KARU-FERTIL en lien avec les taux d'AMH et le nombre de follicules antraux, les principaux marqueurs de la réserve ovarienne. La méthode développée permettra d'identifier plus précisément les femmes présentant une exposition ovarienne élevée à la CLD et de mieux caractériser le lien entre exposition environnementale et altération de la qualité ovocytaire.

Références bibliographiques

- ATSDR. 2020. Toxicological Profile for Mirex and Chlordane. In Final report: US Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Ben-Fares, M., Monfort, C., Kadhel, P., Costet, N., Rouget, F., Michineau, L., ... & Garlantézec, R. (2025). Chlordane exposure in women and time to pregnancy: the Timoun cohort study in Guadeloupe, French West Indies. *Environmental Health*, 24(1), 78.
- Le Déaut, J. Y., & Procaccia, C. (2009). Report on the impact of the use of chlordane and pesticides in the West Indies: assessment and future prospects (Rapports sur les impacts de l'utilisation de la chlordane et des pesticides aux Antilles: bilan et perspectives d'évolution) OPECST. 223.
- Saint-Hilaire, M., Plumain, D., Thomé, J. P., Adam, C., Scholl, G., Vedy, S., ... & Guyomard-Rabenirina, S. (2023). Validation of an HPLC-MS/MS method with QuEChERS extraction using isotopic dilution to analyze chlordane in human serum. *Journal of Chromatography B*, 1229, 123894.

Incidence des cancers dans une cohorte historique de travailleurs d'exploitations bananières aux Antilles

Danièle Luce^{1*}, Juliette Gambaretti¹, Bernard Bhakkan-Mambir^{1,2}, Jonathan Macni³, Clarisse Joachim³, Jacqueline Deloumeaux^{1,2}

¹ Univ Rennes, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail) - UMR_S 1085, Pointe-à-Pitre, France

² CHU de la Guadeloupe, Registre général des cancers de Guadeloupe

³ Registre des cancers de Martinique

* daniele.luce@inserm.fr

◆ Messages-clés :

- L'incidence des cancers a été étudiée dans une cohorte de travailleurs de la banane en activité en Guadeloupe et Martinique pendant la période d'utilisation de la chlordécone.
- L'incidence des cancers est globalement plus faible dans la cohorte que dans la population générale, mais des excès de cancers de l'estomac et de la prostate ont été mis en évidence, après prise en compte de ce déficit global.
- Outre la chlordécone, ces travailleurs ont été exposés à de nombreux autres pesticides, ainsi qu'à des risques physiques et biologiques.

Mots-clés : *santé au travail, cancer, pesticides*

Contexte et enjeux

L'exposition des travailleurs agricoles aux pesticides est souvent plus élevée que celle de la population générale car leur activité professionnelle les met en contact étroit et répété avec ces produits. Afin de mieux connaître les conséquences sanitaires de l'exposition professionnelle à la chlordécone, une cohorte de travailleurs agricoles de la banane en activité en Guadeloupe et Martinique pendant la période d'utilisation du chlordécone a été reconstituée rétrospectivement. Ces travailleurs sont exposés à de nombreux autres pesticides, et sont également confrontés à des risques physiques et biologiques. L'analyse des données de cette cohorte a jusqu'à présent concerné uniquement la mortalité par cause (1,2). Les données des registres des cancers ont maintenant permis d'identifier les cas incidents de cancer parmi les travailleurs de la cohorte. L'objectif est ici de comparer l'incidence des cancers au sein de la cohorte à l'incidence des cancers dans la population générale de Guadeloupe et de Martinique.

Matériel et méthodes

L'étude a porté sur 11221 chefs d'exploitation et salariés agricoles ayant travaillé dans une exploitation bananière entre 1973 et 1993 en Guadeloupe ou en Martinique. Les cas incidents de cancer ont été identifiés par appariement avec les registres des cancers, de 1981 à 2017 en Martinique et de 2008 à 2017 en Guadeloupe. L'incidence des cancers dans la cohorte a été comparée à l'incidence des cancers dans la population générale de Guadeloupe et de Martinique, par le calcul de ratios d'incidence standardisés (SIR, standardized incidence ratio) et de leurs intervalles de confiance à 95 % (IC). Pour chaque localisation de cancer, les nombres de cas attendus ont été calculés en multipliant les taux d'incidence spécifiques par région, sexe, classe d'âge de 10 ans et périodes calendaires de 3 ans par les personnes-années de la cohorte stratifiées selon les mêmes catégories. Les analyses par SIR ont mis en évidence une incidence tous cancers dans la cohorte inférieure à celle de la population générale. Nous avons donc cherché à évaluer s'il existait, pour chaque localisation, un excès ou un déficit de cas de cancer, relativement à ce déficit global des cancers dans la cohorte. Pour cela, nous avons calculé un SIR relatif (RSIR) défini pour une localisation donnée comme le rapport entre le SIR de cette localisation et le SIR de l'ensemble des localisations de cancer, à l'exception de la localisation d'intérêt. Cette approche permet d'ajuster indirectement sur l'effet du travailleur sain, fréquemment observé dans les cohortes de travailleurs (3).

Résultats et discussion

L'incidence des cancers, toutes localisations confondues, dans la cohorte était significativement inférieure à celle de la population générale ($SIR=0,80$, $IC=0,77-0,84$), avec des SIR inférieurs à 1 pour la plupart des cancers. Après prise en compte du déficit global de cancers dans la cohorte, des SIR relatifs significativement augmentés ont été observés pour les cancers de l'estomac ($RSIR=1,32$, $IC=1,12-1,56$) et de la prostate ($RSIR=1,37$, $IC=1,24-1,50$). Des SIR relatifs élevés ont également été observés pour les tumeurs du système nerveux central, de la vessie, de la thyroïde, du col de l'utérus et pour plusieurs hémopathies malignes. Les analyses réalisées séparément chez les hommes et chez les femmes, et chez les chefs d'exploitation et les salariés, ne mettent pas en évidence de différences importantes.

En conclusion, ces premières analyses ont permis d'avoir une description générale de l'incidence des cancers dans cette cohorte, comparativement à la population générale. L'incidence des cancers est globalement plus faible, mais des excès de cancers de l'estomac et de la prostate ont été mis en évidence, relativement à ce déficit global. Ces résultats peuvent guider les analyses étiologiques et orienter les travaux visant à mieux comprendre la relation entre les expositions de ces travailleurs agricoles et le risque de cancer. Ils ne doivent pas être interprétés en termes d'associations entre exposition à la chlordécone et risque de cancer. Ces associations, ainsi que les associations avec d'autres pesticides que la chlordécone, sont évaluées par les analyses internes à la cohorte, qui examinent le risque de cancer en fonction des niveaux d'exposition.

Références bibliographiques

1. Luce D, Dugas J, Vaidie A, Michineau L, El-Yamani M, Multigner L. A cohort study of banana plantation workers in the French West Indies: first mortality analysis (2000-2015). *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020 Nov;27(33):41014-41022.
2. Luce D, Gambaretti J, Michineau L et al. Cause-specific mortality among banana plantation workers in the French West Indies. *Occup Environ Med*. 2025 Dec 3;82(10):512-518.
3. Lerro CC, Koutros S, Andreotti G, et al. Cancer incidence in the Agricultural Health Study after 20 years of follow-up. *Cancer Causes Control*. 2019;30(4):311-322.

Pluri-exposition aux pesticides et risque de cancer de la prostate chez les travailleurs de la banane aux Antilles françaises

Kendya Gene¹, Juvencio Ayosso¹, Johan Spinosi², Jacqueline Deloumeaux^{1,3}, Bernard Bhakkan-Mambir^{1,3}, Clarisse Joachim⁴, Danièle Luce¹, Christine Barul^{1*}

¹ Univ Rennes, Inserm, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail) - UMR_S 1085, Pointe-à-Pitre, France

² Santé Publique France

³ CHU de la Guadeloupe, Registre général des cancers de Guadeloupe

⁴ Registre des cancers de Martinique

* christine.barul@inserm.fr

◆ Messages-clés :

- Cohorte historique de travailleurs de bananeraies des Antilles françaises ayant exercé entre 1973 et 1993, pendant la période d'utilisation de la chlordécone
- Des profils distincts d'exposition combinée aux pesticides ont été retrouvés au sein des participants
- Des risques augmentés de cancer de la prostate ont été retrouvé chez les participants exposés à des combinaisons de pesticides, incluant la chlordécone

Mots-clés : pesticides, cancer de la prostate, exposition professionnelle

Contexte et enjeux

Le cancer de la prostate est le cancer le plus fréquent chez les hommes dans le monde. L'incidence du cancer de la prostate reste particulièrement élevée dans les Antilles françaises, la Guadeloupe et la Martinique présentant les taux les plus élevés au monde¹.

Les facteurs de risque connus du cancer de la prostate sont l'âge, l'ascendance subsaharienne et les antécédents familiaux de cancer de la prostate. Plusieurs facteurs de risque sont suspectés notamment, la prédisposition génétique, le mode de vie ainsi que des facteurs environnementaux tels que l'exposition aux pesticides.

L'utilisation importante des pesticides et leur dispersion dans l'environnement ont suscité une préoccupation majeure de santé publique. Notamment dans les Antilles françaises, situées en région tropicale, où la pression parasitaire et les conditions climatiques entraînent une utilisation intensive de pesticides. Plusieurs études ont rapporté des effets néfastes de la chlordécone sur la santé de ces populations, en particulier un risque augmenté de cancer de la prostate chez les hommes les plus exposés².

Le lien entre l'exposition aux pesticides et le risque de cancer de la prostate a principalement été étudié dans les régions tempérées et pour des substances spécifiques³. À ce jour, peu d'études ont examiné les effets de l'exposition combinée à plusieurs pesticides dans les environnements tropicaux.

Notre objectif était d'examiner le rôle de l'exposition professionnelle à plusieurs pesticides dans la survenue du cancer de la prostate au sein d'une cohorte de travailleurs de la banane des Antilles françaises.

Matériel et méthodes

Les données de l'étude proviennent d'une large étude de cohorte rétrospective portant sur les exploitants et salariés agricoles de bananeraies travaillant en Guadeloupe et en Martinique pendant la période d'utilisation de la chlordécone (1973-1993)⁴. L'étude porte sur 13 500 travailleurs de la banane, incluant une majorité d'hommes.

L'identification des cas incidents de cancers survenus au sein de la cohorte a été réalisée au sein des registres des cancers de Guadeloupe de 2008 à 2017 et de Martinique de 1981 à 2017.

L'exposition à 17 pesticides a été évaluée à l'aide d'une matrice culture-exposition spécifique pour la banane aux Antilles françaises développée par Santé Publique France⁵. Les informations de cette matrice ont été croisées avec les données de carrière des sujets, ce qui a permis de calculer pour chaque sujet des indices d'exposition cumulée.

Une analyse en composantes principales (ACP) et une classification hiérarchique sur l'ACP ont permis d'identifier et de comparer différents profils d'exposition aux pesticides. Des modèles de Cox ont permis de modéliser l'association entre les profils d'exposition et la survenue du cancer de la prostate.

L'effet d'une augmentation simultanée de 25 % des niveaux d'exposition aux pesticides a été estimé par un modèle de quantile g-computation, pour étudier le rôle du mélange de pesticides. Cette méthode permet l'identification des contributeurs à l'effet mélange.

Les analyses ont été ajustées sur l'âge, le département de résidence et le statut de l'emploi.

Résultats et discussion

L'échantillon d'étude comprenait 7 667 hommes pour lesquels on disposait de données complètes sur les niveaux d'exposition aux pesticides et le risque de cancer de la prostate. Quatre profils d'exposition aux 17 pesticides ont été identifiés : le profil 1, faiblement exposé aux pesticides et utilisé comme catégorie de référence, le profil 2, moyennement exposé et caractérisé par une forte contribution de lindane et une faible contribution de l'imazalil, le profil 3, fortement exposé à plusieurs pesticides à l'exception du bitertanol, et le profil 4, très fortement exposé aux 17 pesticides avec une contribution particulièrement élevée pour la chlordécone, le glufosinate et le tridémorphe. Ce dernier profil présentait des risques augmentés de cancer de la prostate (Hazard ratio : HR=1,57 ; Intervalle de confiance à 95% : IC95% [0,99 - 2,49]).

Un risque accru de cancer de la prostate était associé à une augmentation simultanée de 25 % des niveaux d'exposition au groupe des insecticides (Rapport de cotes : RC=1,35 ; IC95% [1,25 - 1,46]), au groupe des herbicides (RC=1,90 ; IC95% [1,51 - 2,38]) et aux deux groupes combinés (RC=2,27 ; IC95% [1,75 - 2,95]). Pour les insecticides, les contributeurs positifs sont le lindane et la chlordécone et pour les herbicides il s'agit du paraquat et du glufosinate.

Nos résultats suggèrent qu'une exposition combinée à plusieurs pesticides augmente le risque de cancer de la prostate chez les travailleurs agricoles, et que la chlordécone contribue à cette augmentation.

Références bibliographiques

1. Bray F, Colombet M, Aitken JF, Bardot A, Eser S, Galceran J, Hagenimana M, Matsuda T, Mery L, Piñeros M, Soerjomataram I, de Vries E, Wiggins C, Won Y-J, Znaor A, Ferlay J, editors (2023). Cancer Incidence in Five Continents, Vol. XII (IARC CancerBase No. 19). Lyon: International Agency for Research on Cancer. Available from: <https://ci5.iarc.who.int/> (accessed 15 February 2026)
2. Multigner, L. *et al.* Chlordécone Exposure and Risk of Prostate Cancer. *JCO* **28**, 3457–3462 (2010).
3. Lewis-Mikhael, A *et al.* Occupational exposure to pesticides and prostate cancer: a systematic review and meta-analysis. *Occupational and Environmental Medicine* (2016) ;73:134-144.doi:10.1136/oemed-2014-102692
4. Luce, D. *et al.* A cohort study of banana plantation workers in the French West Indies: first mortality analysis (2000-2015). *Environ Sci Pollut Res Int* (2019) doi:10.1007/s11356-019-06481-4.
5. Gentil, C., Spinosi, J., Cahour, L., Chaperon, L. & El Yamani, M. Produits phytopharmaceutiques utilisés par les travailleurs de la banane aux Antilles Françaises : évaluation des expositions professionnelles et étude des effets sanitaires associés - Projet Matphyto Dom. (2018).

Effet de la pollution des sols à la chlordécone sur la mortalité générale aux Antilles : une analyse économétrique en expérience naturelle

Gabriel Leblanc-Even^{1*}, Josselin Thuilliez^{2*}

¹ CREM, Université de Rennes

² CREM, CNRS

* gabriel.leblanc-even@univ-rennes.fr; josselin.thuilliez@cnrs.fr

♦ Messages-clés :

- L'étude exploite une reconstruction géospatiale des surfaces bananières par commune en Guadeloupe et Martinique - proxy de la contamination des sols à la chlordécone - afin d'estimer son effet sur la mortalité générale.
- Les données de mortalité et démographiques proviennent de l'INSEE, les données géo-spatiales de la DAAF et du BRGM. Notre étude couvre des cohortes nées entre 1890 à 2021. L'identification repose sur un modèle de différence-en-différences (DiD) exploitant la variation spatiale et temporelle de l'exposition.
- L'exposition aux zones les plus contaminées est associée à une surmortalité, principalement pour les cohortes nées entre 1935 et 1950, avec un effet maximal entre 70 et 74 ans.
- L'effet apparaît avec une latence de 10 à 20 ans après le début de l'exposition, cohérente avec la littérature épidémiologique sur les pathologies hormono-dépendantes, et les ordres de grandeur sont comparables aux résultats existants.

Mots-clés : *chlordécone, mortalité, difference-en-differences, early-life exposure, Antilles françaises*

Contexte et enjeux

La chlordécone est un insecticide organochloré utilisé dans les plantations bananières des Antilles françaises entre 1972 et 1993. Perturbateur endocrinien persistant, ce polluant s'accumule dans les tissus graisseux et dans les sols, où sa demi-vie est estimée à plusieurs centaines d'années. Les Antilles françaises présentent aujourd'hui le taux d'incidence du cancer de la prostate le plus élevé au monde : 227 cas pour 100 000 hommes en Martinique, un niveau comparable étant observé en Guadeloupe. Dans ce contexte de contamination environnementale massive, Multigner et al. (2010) [1] mettent en évidence une association statistique entre l'exposition à la chlordécone et le risque de cancer de la prostate. Toutefois, bien que robustes, ces résultats épidémiologiques ne permettent ni d'établir un lien causal au sens économétrique, ni de mesurer les effets de long terme de cette pollution sur la mortalité générale à l'échelle de la population.

La question centrale de ce travail est donc la suivante : quels sont les effets de long terme de la pollution à la chlordécone sur la mortalité générale aux Antilles françaises ?

Cette question est particulièrement difficile à traiter pour plusieurs raisons. D'une part, la contamination est quasi universelle sur les deux îles ; d'autre part, les données individuelles d'exposition sont inexistantes sur longue période. Enfin, les effets biologiques de la chlordécone se manifestent avec une latence pouvant atteindre 10 à 30 ans, et l'exposition elle-même combine des canaux hétérogènes, entre exposition professionnelle directe des travailleurs agricoles et exposition indirecte via l'alimentation. Cette étude propose une approche historique en cohorte-période exploitant les dimensions spatiale, historique et démographique des données disponibles. Ce cadre ne permet toutefois pas de mobiliser les données de contamination biologique utilisées dans la littérature épidémiologique récente. Ces contraintes nécessitent donc un design d'identification original, fondé sur la variation spatiale d'une proxy de l'intensité de la pollution des sols entre communes, la variation de la durée d'exposition depuis 1972 et l'âge auquel les individus ont été exposés.

Ce travail s'inscrit dans la littérature en économie de la santé consacrée aux effets de long terme d'une exposition à des polluants chimiques selon les différents stades de la vie. Pour répondre à cette question, l'étude mobilise des outils issus de la démographie, notamment une analyse de survie de Kaplan-Meier

ainsi qu'un modèle de Cox. Enfin, elle s'appuie sur les développements récents des estimateurs de difference-en-differences, en particulier dans le cadre des traitements continus [2].

Matériel et méthodes

Nous mobilisons le fichier nominatif des personnes décédées de l'INSEE 1970-2021 pour la Martinique et la Guadeloupe, soit l'ensemble des décès enregistrés sur les deux îles sur cinquante ans. Nous étudions des individus nés entre 1890 et 2021. Le dénominateur de population est reconstruit à partir du recensement de 1974, désagréé par commune, cohorte de naissance et sexe, en suivant l'approche de reconstruction démographique de Goodman-Bacon (2021) [3]. La variable de traitement est le ratio de surface bananière sur la surface communale totale, utilisé comme proxy de l'exposition communale à la chlordécone. Les données de pollution sont issues des registres agronomiques historiques. Nous étudions la mortalité par âge comme variable d'intérêt.

La progression analytique suit trois étapes complémentaires. L'analyse de Kaplan-Meier compare les courbes de survie des individus nés dans les communes les plus exposées (décile supérieur des communes les plus polluées, standardisé intra-île) aux individus nés dans les communes partiellement exposées, stratifiée par groupe de cohortes de naissance. Le modèle de Cox quantifie le hazard ratio associé à l'exposition à la pollution, avec stratification par groupe de cohortes et correction de la troncature à gauche. Enfin, un modèle de difference-en-differences triple (DiD) - inspiré de Goodman-Bacon (2018) [4] - exploite simultanément trois dimensions de variation : le niveau de pollution des communes, les groupes d'âge (le signal est attendu sur les âges 50-75 ans) et la période à laquelle les individus sont exposés. Selon la littérature médicale sur la latence biologique, le signal sur la mortalité doit commencer à être visible aux alentours de l'année 1990.

Résultats et discussion

Les analyses de Kaplan-Meier révèlent à ce stade une divergence significative des courbes de survie pour les cohortes nées entre 1935 et 1950 dans les communes "les plus contaminées" (au sens de notre proxy) - avec un écart moyen de 2,9 points de probabilité de survie entre 50 et 70 ans - absente pour les cohortes plus anciennes, moins exposées durant leur vie active.

Le modèle de Cox confirme un hazard ratio de 1,042 (significatif à 1%) pour l'ensemble des cohortes : une forte exposition à la chlordécone est ainsi associée à une augmentation du risque de mortalité de +4,2%. Ce résultat est principalement porté par les cohortes nées entre 1935 et 1950 (HR = 1,116, $p < 0,05$), pour lesquelles les individus issus des communes les plus polluées présentent un sur-risque de mortalité de +11,6% par rapport aux communes moins exposées. Ces résultats suggèrent une forte hétérogénéité entre générations et motivent le recours à un design de difference-in-differences, permettant d'exploiter conjointement la variation spatiale de l'intensité de la pollution et la variation temporelle de l'exposition induite, pour chaque cohorte, par l'introduction de la chlordécone en 1972.

À ce stade de l'analyse, la triple DiD met en évidence une divergence nette des taux de mortalité à partir de 65 ans dans les communes les plus exposées. Le coefficient estimé pour le groupe des 70-74 ans atteint +0,0029 ($p < 0,05$). Autrement dit, dans les communes où la part des surfaces cultivées en bananes était la plus élevée - et donc où l'exposition à la chlordécone est supposée avoir été la plus intense - on observe environ 3 décès supplémentaires pour 1000 personnes et par an après 1989, relativement aux communes moins exposées. L'analyse en event-study annuelle confirme par ailleurs l'absence de divergence préexistante sur la période 1974-1989, ce qui soutient l'hypothèse de tendances parallèles.

Nos résultats préliminaires sont globalement cohérents avec la littérature épidémiologique. Luce et al. (2025) [5] documentent un CMR de 1,31 [1,27–1,34] sur la mortalité toutes causes chez les travailleurs des bananeraies par rapport à la population générale antillaise, un ordre de grandeur comparable à notre risque relatif de décès. Notre HR de 1,116 est toutefois plus faible, ce qui est attendu : alors que Luce et al. comparent des travailleurs exposés à une population non exposée, nous exploitons une variation intra-territoriale de l'exposition entre communes. Cette approche est plus conservative, mais potentiellement

plus robuste à l'endogénéité, dans la mesure où les communes faiblement et fortement exposées partagent davantage de caractéristiques socio-économiques et environnementales de base.

Ces résultats préliminaires appellent plusieurs nuances importantes. Premièrement, la puissance statistique demeure structurellement limitée par le faible nombre de communes (66), ce qui réduit la précision des estimations. Deuxièmement, bien que notre identification causale soit crédible, elle reste partielle : le design DiD contrôle les tendances communales par groupe d'âge, mais ne permet pas d'exclure entièrement des facteurs de confusion tels que les conditions de travail, les migrations ou l'accès différencié aux soins, malgré les tests de robustesse mis en œuvre. À ce stade, l'estimateur doit donc être interprété comme une borne informative de l'effet total de l'exposition à la pollution des sols par la chlordécone, plutôt que comme un effet causal isolé au sens strict. Troisièmement, nos estimations reposent sur un proxy de pollution qui ne capture qu'imparfaitement la complexité des mécanismes en jeu, liée notamment à la coexistence d'expositions directes (professionnelles) et indirectes (alimentaires), ainsi qu'à la diffusion environnementale de la contamination.

Enfin, l'analyse porte sur la mortalité toutes causes en population générale, ce qui constitue à la fois une force et une limite. À notre connaissance, il s'agit de la première étude utilisant des données exhaustives d'état civil pour analyser les déterminants historiques de la mortalité aux Antilles françaises dans le contexte de la chlordécone. Cette approche permet de capter l'ensemble des mécanismes létaux potentiels - cancers hormono-dépendants, maladies cardiovasculaires, effets neurologiques - ainsi que des externalités liées à une contamination environnementale diffuse. En revanche, elle ne permet pour l'instant ni d'identifier les mécanismes dominants ni de contrôler les facteurs de confusion spécifiques à chaque cause de décès. Elle fournit ainsi une estimation agrégée, en attendant des analyses plus fines en cours avec le SNDS.

Références bibliographiques

- [1] Multigner, L., Ndong, J.R., Giusti, A., Romana, M., Delacroix-Maillard, H., Cordier, S., ... & Blanchet, P. (2010). Chlordécone exposure and risk of prostate cancer. *Journal of Clinical Oncology*, 28(21), 3457-3462.
- [2] Callaway, B., Goodman-Bacon, A. & Sant'Anna, P.H.C. (2024). *Difference-in-Differences with a Continuous Treatment*. NBER Working Paper 32117.
- [3] Goodman-Bacon, A. (2021). The long-run effects of childhood insurance coverage : Medi- caid implementation, adult health and labor market outcomes. *American Economic Review*, 111(8), 2542-2579.
- [4] Goodman-Bacon, A. (2018). Public Insurance and Mortality : Evidence from Medicaid Im- plementation. *Journal of Political Economy*, 126(1), 216-262.
- [5] Luce, D., Gambaretti, J., Michineau, L., Multigner, L. & Barul, C. (2025). Cause-specific mortality among banana plantation workers in the French West Indies. *Occupational and Environmental Medicine*, 82(10), 512-518.

SESSION 3 – LA GESTION DU RISQUE : SOCIÉTÉS, POLITIQUES PUBLIQUES, OUTILS

 [visualiser la vidéo](#)

 [visualiser la présentation](#)

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA SESSION 3 – PARTIE 1

Remédiation : état des lieux depuis 2022, enjeux et perspectives

Magalie Lesueur-Jannoyer (CIRAD)

Depuis 2010, plusieurs stratégies de remédiation sont explorées pour réduire la contamination des sols par la chlordécone et limiter son transfert vers les autres compartiments de l'environnement. Les recherches portent notamment sur la dégradation de la molécule par des voies chimiques ou biologiques, sur sa séquestration à l'aide de matériaux tels que les charbons actifs ou les biochars, ainsi que sur la phytoremédiation. Ces travaux ont permis d'identifier des pistes prometteuses, mais également de nouvelles questions, en particulier sur le devenir et les effets des produits issus de la transformation de la chlordécone.

Le colloque de 2022 avait ainsi fait de la caractérisation de ces produits de transformation une priorité : leur toxicité, leur mobilité, leur persistance et leur devenir dans les différents compartiments environnementaux doivent être mieux connus avant de pouvoir évaluer pleinement les stratégies de remédiation. Cette évolution s'accompagne du développement de méthodes d'analyse capables de détecter et de quantifier à la fois la chlordécone et ses produits de transformation.

Depuis 2022, plusieurs projets de recherche ont permis de poursuivre et de diversifier ces travaux, en associant développement de nouveaux outils de surveillance, écotoxicologie, optimisation des techniques de traitement des sols, phytoremédiation ou encore utilisation de consortiums bactériens locaux. Certaines solutions, notamment fondées sur l'utilisation de biochars, font désormais l'objet d'expérimentations en conditions réelles.

Au-delà de leur efficacité technique, l'enjeu est aujourd'hui d'évaluer les effets environnementaux, les coûts, les bénéfices et l'acceptabilité sociale des solutions proposées, et de les comparer aux stratégies de prévention. Cette démarche conduit à inscrire la remédiation dans une approche plus systémique et « One Health », associant santé humaine, santé des écosystèmes, pratiques agricoles et dimensions sociales. La poursuite d'expérimentations *in situ*, notamment sur des parcelles ateliers et avec l'implication des différents acteurs concernés, constitue à ce titre une étape essentielle pour identifier des solutions efficaces, durables et adaptées aux territoires antillais.

 [visualiser la vidéo](#)

 [visualiser la présentation](#)

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA SESSION 3 – PARTIE 2

Sciences Humaines et Sociales : état des lieux depuis 2019, enjeux et perspectives

Justin Daniel (Université des Antilles, VP SHS CPSN)

Le workshop organisé en 2019 autour de la chlordécone au prisme des sciences humaines et sociales (SHS) a marqué une étape importante dans l'élargissement des recherches consacrées à cette contamination. Alors que les connaissances environnementales et sanitaires s'étaient progressivement développées, ses dimensions politiques, sociales et économiques restaient encore peu documentées. Les SHS ont notamment contribué à déplacer le regard vers les perceptions des populations, les conditions de production et d'appropriation de l'information, la confiance dans la parole publique et, plus largement, les modalités de l'action publique.

Depuis 2019, et plus encore depuis le colloque de 2022, les SHS ont acquis une place croissante dans les programmes de recherche sur la chlordécone. Les travaux présentés lors de cette nouvelle édition témoignent de cette évolution, en abordant notamment les perceptions et expériences citoyennes, la participation des populations, les enjeux de gouvernance et d'action publique, ainsi que les questions de justice, d'équité, de réparation et d'impacts socio-économiques. Ils montrent également que les SHS ne constituent pas qu'un simple complément aux approches environnementales ou sanitaires : leur intégration peut contribuer à redéfinir les objets mêmes de la recherche et les réponses qui leur sont apportées.

L'enjeu est désormais de renforcer cette contribution en développant davantage le dialogue entre disciplines et en intégrant les SHS à toutes les étapes de la recherche et de l'action publique : en amont, dans la définition des problématiques de recherche, des publics concernés et des indicateurs ; pendant la mise en œuvre, pour analyser les usages, les contraintes, les rapports de pouvoir et les controverses ; et en aval, pour évaluer les effets des politiques, leur équité et les processus de réparation. Cette perspective suppose également de mieux prendre en compte les expériences vécues et les savoirs des populations, et de faire de leur participation un véritable pouvoir d'action.

Les défis à venir concernent ainsi le renforcement de l'interdisciplinarité, la documentation des conditions et des inégalités d'exposition et l'association plus étroite des acteurs des territoires à la production des connaissances. Dans une perspective One Health, l'intégration des systèmes sociaux, économiques, juridiques et politiques apparaît indispensable pour comprendre les mécanismes qui organisent les expositions et construire des réponses adaptées aux réalités des territoires antillais.

 [visualiser la vidéo](#)

 [visualiser la présentation](#)

CONFÉRENCE INTRODUCTIVE DE LA SESSION 3

Gouverner une toxicité durable – Comment le cas du chlordécone éclaire les savoirs, controverses et modes de gestion des résidus toxiques

Sara Angeli-Aguiton (CNRS)

Les recherches scientifiques sur le chlordécone s'attachent à documenter les effets sanitaires, environnementaux et sociaux de sa persistance, sa diffusion à travers les chaînes alimentaires, sa bioaccumulation et sa très lente dégradation. Ces phénomènes sont au cœur des questionnements scientifiques, de même qu'ils posent des problèmes proprement politiques, ayant trait à la difficile réduction de l'exposition des populations comme aux controverses qui portent sur cette contamination. Ces dimensions peuvent être éclairées par des travaux actuels en sciences sociales sur le gouvernement des résidus toxiques. Cette littérature souligne en effet la portée politique de molécules qui ont été utilisées par le passé, dont les caractéristiques génèrent tout un ensemble de difficultés pour les populations exposées, la science, la gestion publique, les mobilisations sociales.

Comment les sciences sociales abordent-elles les « résidus chimiques » ? Cette question sera au cœur de la première partie de ma présentation. L'ouvrage *Residues. Thinking Through Chemical Environments* de Boudia et. al (2021) permet d'élargir le cadre temporel avec lequel on conçoit traditionnellement la toxicité. Il s'agit de considérer les molécules chimiques non au moment de leur conception, de leur commercialisation, ou encore de leurs usages ; mais à la fin de leur cycle de vie, dans la temporalité ouverte et incertaine de leur rémanence dans les milieux. La prise en compte de cette temporalité permet aux auteur·rices de documenter les mécanismes de négligence, d'ignorance, de « science non faite » et d'oubli qui peuvent accompagner la persistance de ces molécules dans les environnements. Les auteur·rices invitent également à concevoir les résidus en prêtant attention leur matérialité et aux problématiques écologiques et sanitaires, sociales et de gouvernance que celle-ci pose. Ils et elles insistent par ailleurs sur le fait que les résidus sont relationnels, réclamant aux sciences naturelles de documenter ces nouvelles relations entre une molécule et son environnement, mais imposant aussi des formes de « cohabitation forcée » (Gramaglia 2023) des populations avec la pollution. Ces éléments poussent Boudia et al. à concevoir les résidus chimiques comme une dimension spécifique de l'anthropocène, témoignant de l'empreinte chimique de l'activité humaine sédimentée dans l'histoire de la terre. D'autres recherches documentent les dimensions géopolitiques et coloniales des pollutions résiduelles (Hecht 2023, Ferdinand 2024), leur cadrage institutionnel et par l'expertise (Marchand 2025), les savoirs profanes qui cherchent à résorber les situations d'ignorance (Petit et Thomas, 2025) ou encore la difficulté de faire reconnaître la « toxicité ordinaire » qui fait suite à l'usage d'armes chimiques dans des contextes militaires (Bureau-Point, à paraître). Cette littérature permet de réfléchir à la violence propre aux contaminations environnementales et aux rapports de pouvoir qui se manifestent dans la gestion des résidus. Les concepts de la « violence lente » (Nixon 2011), d'« habiter colonial » (Ferdinand 2019), de « gouvernance résiduelle » (Hecht 2023) ou de pollution comme relation coloniale (Liboiron 2021) sont autant de façon de caractériser ces rapports de pouvoir.

Dans la seconde partie de la présentation, j'expliciterai en quoi le chlอร์ดေးcone est typique d'un résidu en tant qu'il précède et survit à tout dispositif réglementaire cherchant à l'encadrer ; et parce que sa matérialité est un problème dont les multiples dimensions ne sont pas encore connues ni gérées. Le chlอร์ดေးcone est par ailleurs un agent relationnel : il recompose les chaînes alimentaires, les pratiques de pêche et de subsistance, les économies domestiques et les traditions antillaises, mais aussi le rapport aux agences sanitaires et à l'Etat. De ce constat de départ, je proposerai une série de remarques autour de trois grands thèmes.

Le premier visera à questionner les formes de politisation du dossier du chlอร์ดေးcone : des dynamiques de politisation institutionnelle (« par le haut ») ou par les mobilisations sociales (« par le bas ») interagissent et contribuent à des luttes de cadrage autour de la qualification du problème du chlอร์ดေးcone. Sont en jeu le monopole de l'expertise étatique et de la science réglementaire pour « dire » les effets du chlอร์ดေးcone, la réception sociale des instruments de gestion, de même que les acceptions de la responsabilité de l'Etat ou du périmètre attendu des réparations. Cette politisation peut influencer d'autres controverses (comme la crise COVID en Guadeloupe), qui rétroagissent à leur tour sur la perception du dossier du chlอร์ดေးcone, alimentant ainsi un contentieux politique plus large sur les questions de santé (Mulot 2021) et d'environnement. Enfin, il conviendra de questionner la résignation, la fatalité, qui peuvent être lues comme une « non-politisation par le bas », et qui témoignent tant d'une attitude face à la pollution chronique que face à la défaillance des services publics dans le contexte des Antilles.

Le deuxième thème abordé sera celui des écarts de perception des problèmes entre gestionnaires, chercheur·ses et citoyen·nes sur le chlอร์ดေးcone. J'argumenterai qu'il faut se garder de les rabattre sur une problématique de *literacy* scientifique dont manqueraient les populations (Wynne 1992) pour aborder ces écarts dans leur complexité. Il convient ainsi de réfléchir aux limites d'établissement des responsabilités juridiques, de la causalité scientifique, ainsi qu'aux difficultés d'accompagner des victimes peu visibles du chlอร์ดေးcone (telles les victimes pédiatriques) dont les droits sont aujourd'hui très difficilement accessibles.

Enfin, le troisième et dernier thème sera celui du « vivre avec le chlอร์ดေးcone », spécifiquement abordé autour du cas de la biosurveillance (« chlอร์ดေးconémie »), instrument exemplaire d'une politique de « vivre avec » la pollution. Je retracerai les étapes d'élaboration de cette politique qui a transformé une technique initialement utilisée par les études scientifiques en un dosage accessible à tous·tes qu'il est possible de réaliser gratuitement dans un laboratoire d'analyse médicale. Je reviendrai sur les mobilisations qui ont lutté pour garantir cette accessibilité ; sur l'élaboration des seuils réglementaires ; sur les dysfonctionnements des systèmes de santé ; mais aussi sur la confrontation des gestionnaires de risque à l'ancrage social des pratiques les plus exposantes (habitudes alimentaires et pratiques de subsistance profondément ancrées, qui sont aussi des stratégies pour pallier à la précarité dans un contexte de vie chère, d'inégalités alimentaires et de profondes défaillances infrastructurelles des réseaux d'eau).

Je conclurai cette présentation en invitant à se garder d'individualiser les risques ; à accepter que les enjeux d'ignorance n'existent pas que dans les perceptions populaires qu'il faudrait informer mais aussi dans la production scientifique et la gestion de risque ; et à reconnaître que la politisation du chlอร์ดေးcone (« par le bas ») n'est pas un mal à gérer, mais qu'elle témoigne d'un legs historique auquel il est nécessaire de se confronter collectivement et, il faut l'espérer, qu'elle alimente une vigilance démocratique sur les problématiques de santé environnementale dans les sociétés antillaises.

Références bibliographiques

- Boudia, S., Creager, A. N., Frickel, S., Henry, E., Jas, N., Reinhardt, C., & Roberts, J. A. (2021). *Residues: Thinking through chemical environments*. Rutgers University Press.
- Bureau-Point, E. (à paraître). « Ordinary toxicity and the slow violence of the chemical war in Cambodia »
- Gramaglia, C. (2023). *Habiter la pollution industrielle*. Presses des Mines.
- Ferdinand, M. (2019). *Une écologie décoloniale. Penser l'écologie depuis le monde caribéen*. Seuil.
- Ferdinand, M. (2024). *S'aimer la Terre : Défaire l'habiter colonial*. Seuil.
- Hecht, G. (2023) *Residual Governance. How South Africa Foretells Planetary Futures*. Duke University Press.

Liboiron, M. (2021). *Pollution is colonialism*. Duke University Press.

Marchand, A. (2025). « Classer et diviser les victimes de l'amiante : la difficile reconnaissance d'un débordement industriel (Aulnay-sous-Bois, 93) ». *Écologie & Politique*, 71(2), 25-41.

Mulot, S. (2021). « Sur le refus de la vaccination en Guadeloupe ». AOC Média.

Nixon, R. (2011). *Slow Violence and the Environmentalism of the Poor*. Harvard University Press.

Petit, K., & Thomas, V. (2025). « Résorber l'ignorance, et après ? Savoirs journalistiques et mobilisations collectives sur les polluants éternels dans le sud lyonnais ». *Quaderni*, 114(1), 31-44.

Wynne, B. (1992). Misunderstood misunderstanding: social identities and public uptake of science. *Public understanding of science*, 1(3), 281.

Avancées et limites de la méthanisation comme outil de remédiation de déchets contaminés à la chlordécone

Guillaume Henry^{3*}, Tiffany Scherrer¹, Perla Alnajjar¹, Déborah Martin², Claire Soligot-Hognon¹, Sébastien Chaussonnerie², Delphine Muselet², Agnès Fournier¹, Pierre-Loïc SAAIDI², Yves Le Roux^{1,3*}

¹ L2A, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-Lès-Nancy, France

² Génomique Métabolique, Genoscope, Institut François Jacob, CEA, CNRS, Univ Evry, Université Paris-Saclay, 91057 Evry, France

³ Chaire industrielle Agrométhé Université de Lorraine-ENSAIA, 54280 Champenoux, France

* guillaume.henry@univ-lorraine.fr ; yves.leroux@univ-lorraine.fr

♦ Messages-clés :

- La méthanisation, même avec des intrants variables, permet la dégradation de la chlordécone (90% de dégradation en régime thermophile et 50% en mésophile) et des produits de transformation ont été suivis et quantifiés permettant de rationaliser la disparition de la chlordécone.
- En culture pure, *Methanosarcina thermophila* (DSMZ 1825), archée méthanogène proche du taxon détecté dans des digestats, dégrade efficacement la chlordécone.
- Il est possible de suivre les évolutions de la CLD dans des digestats enrichis mais son suivi dans les digestats issus d'effluents bovins en décontamination sera difficile pour les concentrations attendues de CLD, très en dessous des LOQ actuelles.

Mots-clés : chlordécone, produits de transformation, méthanisation, digestat, archées

Contexte et enjeux

L'usage intensif de la chlordécone (CLD) en Guadeloupe et en Martinique de 1972 à 1993 a contaminé les sols durablement et les différents compartiments de l'écosystème antillais. Classé comme polluant organique persistant, perturbateur endocrinien et cancérigène possible, cet insecticide organochloré est faiblement dégradé dans l'environnement. Lors de la décontamination des bovins élevés sur des sols pollués par la CLD, les déjections animales se concentrent en CLD [1] nécessitant leur traitement pour éviter une pollution environnementale. La CLD, bien que persistante dans l'environnement, peut être dégradée en différents produits de transformation (PTs) par des processus biotiques [2], incluant des conditions réductrices méthanogènes [3]. L'objet de la présente communication est de faire le point sur les différentes expérimentations menées à l'Université de Lorraine (L2A et Chaire Agrométhé) et au CEA (UMR 8030 Génomique Métabolique) depuis 2018 qui permettent de démontrer la dégradation de la CLD par la méthanisation ainsi que le suivi et la quantification de ses PTs dans le but à terme de proposer une stratégie de bioremédiation efficace et déployable réellement aux Antilles.

Matériel et méthodes

Une première série d'expérimentations, dite « preuve de concept », a été menée en régime mésophile (levain issu de lisier bovin ; 37°C) et thermophile (levain issu d'un méthaniseur industriel traitant des déchets d'origine végétale ; 55°C) dans un système de réacteurs discontinus (en batchs) mettant en œuvre une digestion anaérobie (DA) en présence d'une très forte concentration initiale de CLD de 20 mg/L sur une durée de 40 jours [4]. La mesure de la production de biogaz et une analyse métagénomique ont été réalisées pour mesurer l'impact de l'ajout de CLD. Une deuxième série d'expérimentations a été réalisée sur une DA dans un système continu (chémostat de 10 L) en régime thermophile (55°C) observant un temps de séjour moyen de la matière de 40 jours. La CLD a été introduite par un spike initial à 5 mg/L puis ajoutée quotidiennement dans la ration à base de lisier bovin. La troisième expérimentation consiste en l'étude de la dégradation de la CLD à 55°C par l'archée méthanogène *Methanosarcina thermophila* (DSMZ 1825), souche similaire à celle retrouvée dans le consortium (ANI > 99,7%). Enfin des mesures de terrain sur la concentration en CLD d'effluents contaminés ont été réalisées suivie d'une modélisation de la disparition et du suivi de la CLD. Pour l'ensemble des expérimentations réalisées en méthanisation, le protocole QuEChERS (*Quick, Easy, Cheap, Efficient, Rugged and Safe*) a été retenu afin d'extraire et de

quantifier la CLD et ses PTs dans les digestats, pour sa simplicité de mise en œuvre ainsi que son faible coût d'utilisation [4].

Résultats et discussion

La première série d'expérimentations a permis de montrer que la dégradation de la CLD pouvait atteindre plus de 50% en régime mésophile et près de 90 % en régime thermophile avec une quantification des principaux PTs [3]. L'analyse du volume de biogaz produit et des communautés de micro-organismes ne montre pas d'effet inhibiteur de la CLD sur la DA ni de modification significative du consortia microbien. La deuxième série d'expérimentations en régime thermophile et continu a permis de confirmer les résultats issus du système discontinu avec un abattement de la concentration de CLD de 88 %. Une première proposition de schéma réactionnel et de constantes cinétiques associées a pu être testée. Les 2 études réalisées en régime thermophile batch et système continu montrent la même dégradation de la CLD entre 80 et 90% après 30-40 jours. Les PTs ont aussi été suivis et quantifiés sans que le bilan de masse puisse être complet montrant que d'autres composés pourraient être produits. Les archées ont manifestement un rôle central dans le processus de dégradation de la CLD, validé par l'expérimentation en souche pure avec *Methanosarcina thermophila* DSM 1825 qui montre une diminution marquée de la concentration de CLD après 14 jours, corrélée à l'apparition de plusieurs PTs.

Des mesures de terrain faites au sein d'un lot d'animaux en décontamination montrent que le fumier (fèces + paille) présente une concentration en CLD de quelques µg/kg de matière sèche. Pour son traitement, ce fumier devra être introduit dans un méthaniseur. Une modélisation simplifiée (temps de séjour de 30 jours et dégradation de la CLD de 90 % en 15 jours) indique que la concentration théorique attendue dans le digestat sera inférieure à 0,1 µg/kg de matière sèche, concentrations difficilement mesurables dans les conditions de développement analytiques actuelles.

La méthanisation apparaît comme un outil efficace pour la dégradation de la CLD contenue dans les effluents d'élevage contaminés, des études complémentaires sont à réaliser pour améliorer le bilan de masse et mesurer la toxicité des PTs produits. En parallèle, il apparaît nécessaire de travailler sur une amélioration des méthodes analytiques pour mieux suivre la dégradation de la CLD à des concentrations représentatives des conditions environnementales.

Références bibliographiques

1. Fourcot A., Feidt C., Le Roux Y., Thomé J.P., Rychen G., Fournier A., Characterization of chlordecone distribution and elimination in ewes during daily exposure and depuration, Chemosphere, Volume 277, August 2021, 130340
2. Chevallier, M. L., Della-Negra, O., Chaussonnerie, S., Barbance, A., Muselet, D., Lagarde, F., ... & Saaidi, P. L. Natural chlordecone degradation revealed by numerous transformation products characterized in key French West Indies environmental compartments. Environmental science & technology, 2019, 53(11), 6133-6143.
3. Jablonski P, Pheasant D, Ferry J. Conversion of Kepone by *Methanosarcina thermophila*. FEMS Microbiol Lett. 1 juin 1996;139(2-3):169-73.
4. Martin DE, Alnajjar P, Muselet D, Soligot-Hognon C, Kanso H, Pacaud S, et al. Efficient biodegradation of the recalcitrant organochlorine pesticide chlordecone under methanogenic conditions. Sci Total Environ. déc 2023;903:166345.

Communication publique et abattage anba fèy dans la lutte contre la contamination au chlordécone. Impasse communicationnelle & co-existence culturelle.

Aurélié POURREZ^{1*}, Axelle BURBAN²

¹ Coordinatrice du projet GwadaSafeMeat, ANR-23-SSAI-0014. Chercheuse en Sciences de l'Information et de la Communication à l'UR3476 Centre de Recherche sur les médiations, Université de Lorraine.

² Ingénieure en agro-développement à ITEL au moment de la recherche, aujourd'hui chargée de mission à la DRAAF Auvergne Rhône Alpes

* aurelie.pourrez@univ-lorraine.fr

♦ Messages-clés :

- Connaissance amorcée de l'abattage clandestin
- Permettre un échange entre citoyennes, citoyens et institutions publiques sur l'abattage an ba pyé mango : entendre et reconnaître la dimension culturelle pour mieux comprendre la persistance de l'abattage clandestin et permettre des alternatives facilitantes vers le circuit légal.
- Communication publique et co-existence culturelle : amélioration des liens entre population et institutions publiques.

Mots-clés : médiation, incommunicabilité, communication publique, co-existence culturelle

Contexte et enjeux

L'Anses a émis des recommandations sur l'alimentation provenant des circuits informels (autoproduction, dons, bords de route) car elle constitue une exposition supérieure au chlordécone. Ces recommandations portent sur les produits de la pêche et les racines et tubercules issus des jardins familiaux en zones réputées contaminées. Il n'y a aucune recommandation sur les viandes issues de ces circuits (à l'exception des viandes de volaille), alors qu'elles sont évaluées comme constituant près de la moitié de la consommation de viande locale. Le public doit-il comprendre qu'il n'y a pas de contamination possible par la viande de vaches élevées en zone contaminée ?

Le programme INSSICCA, permettant un Outil d'Aide à la Décision en amont de l'abattage des bêtes et une décontamination si nécessaire plutôt qu'une saisie de carcasse comme auparavant, indique le contraire. De nombreux acteurs accompagnent en effet les acteurs de la filière bovine qui ont ainsi pu maintenir leur élevage professionnel en zone contaminée. La communication publique, c'est-à-dire, *l'ensemble des activités d'institutions et d'organisations publiques visant à transmettre et échanger des informations dans le but principal de présenter et d'expliquer des décisions et les actions publiques, d'en promouvoir la légitimité, de défendre des valeurs reconnues et d'aider au maintien du lien social.* (Pasquier, 2017), s'applique à diffuser les bonnes pratiques d'élevage de l'identification à l'abattage pour les professionnels et les détenteurs. Le caractère illégal de l'abattage sous le manguier (ou clandestin ou an ba fèy ou an ba pyé mango) est rappelé régulièrement par voie médiatique avec des saisies de carcasse et les sanctions encourues de 6 mois d'emprisonnement et 15 000 euros d'amende délictuelle et un rappel des risques sanitaires, dont le risque de contamination au chlordécone. L'Anses évalue les risques sanitaires, produit des connaissances, surveillance et alerte, de façon rigoureuse et efficace. Si la viande bovine n'apparaît pas dans les recommandations, c'est que persiste un défaut de connaissances sur ce circuit informel.

Dans le cadre d'une recherche participative financée par l'Agence Nationale de la Recherche dans un programme Science Avec et Par la Société- Ambitions Innovantes, nous avons répondu à la problématique suggérée par une association guadeloupéenne au décours d'une collaboration pour mettre en place un espace de discussion entre éleveurs, vétérinaires, consommateurs et politiques. Il paraissait difficile de se satisfaire du succès des trois moments organisés alors que les échanges n'avaient pas tenu compte de la réalité de consommation majoritaire de viande locale : il fallait donc développer une connaissance du circuit informel, en comprendre la dimension patrimoniale culturelle, évaluer les risques de contamination et identifier les éléments qui peuvent fournir un effet de levier pour une orientation vers le circuit réglementaire. Pour cela, l'association Institut Technique d'Élevage de Guadeloupe et de St Martin, l'unité

de recherche en Agroécologie, Génétique et Systèmes d'Élevage Tropicaux (UR ASSET) de l'INRAE Guadeloupe, le laboratoire Animal Agroecosystème (L2A) et le Centre de REcherche sur les Médiations (UR 3476 CREM) de l'Université de Lorraine ont collaboré pour mener à bien les objectifs du projet.

Matériel et méthodes

Le design du projet se décline en trois *task forces*. Le premier est qualitatif et a permis, grâce à une approche ethnologique, de recueillir les témoignages de différents acteurs de la filière bovine, de détenteurs ou d'abatteurs et de différentes personnes travaillant dans des institutions publiques. Plus d'une centaine d'entretiens ont été menés avec une limite, pour la plupart, de non enregistrement et donc d'absence de retranscription. Chaque entretien a néanmoins fait l'objet d'un compte-rendu. Il a permis de comprendre l'abattage an ba pyé mango et son ancrage persistant sur le territoire. Une émission radiophonique sur RCI Guadeloupe, Bikalavi, avec interventions des auditrices et auditeurs, a permis de confirmer une saturation des résultats. Le deuxième groupe de travail s'est appliqué à agir à partir de cette connaissance en menant des actions de médiations entre population et institutions publiques pour recréer la possibilité d'un espace de discussion. L'émission de radio permettait en effet de recueillir les avis du public et de générer *a posteriori* des discussions tant dans la population que dans les institutions avant un débat au décours d'un atelier de dégustation expérimentale de l'UR ASSET entre les participants constitués de personnes de la société civile et d'institutions publiques. Un séminaire a également été organisé par l'UR ASSET où les échanges ont pu aussi avoir lieu, notamment sur les difficultés d'accès à l'abattoir selon les institutions et selon des usagers. Le troisième groupe de travail s'est appliqué à orchestrer des actions de médiations avec différents publics de la population pour permettre une réflexivité sur la tension émanant de la co-existence de pratiques officielle et traditionnelle devenue illégale dans cette lutte contre la contamination au chlordécone. Quelques difficultés de mise en œuvre ont été rencontrées, notamment pour une action de médiation scientifique et culturelle dans un lycée pour proposer une investigation pour comprendre et connaître le circuit réglementaire du cycle de vie d'une vache détenue en zone contaminée et travailler simultanément sur le patrimoine culturel guadeloupéen mobilisé par cette pratique persistante avec un atelier d'écriture. La difficulté principale a été dans l'obtention des autorisations avant de pouvoir solliciter un lycée. D'autre part, une exposition artistique a permis de valoriser les résultats de la recherche par une recherche création participative de Cédrick Isham Calvados, Mathilde et Pauline Bonnet, Awoz et Llau dans laquelle le public a pu voir le parcours légal d'élevage et d'abattage (série photographique « Chair debout » de Cédrick Isham Calvados), les souvenirs d'enfance relatifs à l'abattage (« Les cochons entendent-ils sans leurs oreilles ? » des sœurs Bonnet), le didiko et les scènes de partage de l'abattage et la campagne habitée (dessins d'Awoz) et la dimension spirituelle de l'abattage (« L'âme au pied de l'arbre » de Llau).

Résultats et discussion

Si l'approche ethnologique a permis de connaître les éléments patrimoniaux culturels, économiques et sociaux de l'abattage an ba fèy expliquant sa persistance, elle a permis de déterminer les éléments pouvant fournir un effet levier et amener à des recommandations de stratégies de communication pour une orientation vers le circuit réglementaire et une reconnaissance de l'ancrage historique de la pratique. Les limites de la communication publique peinent à préserver le lien social. L'incommunication de la co-existence culturelle fausse certaines approches préventives en expliquant par exemple par une dyslittératie en santé (Guingal, 2024) la persistance du circuit informel. L'étude a montré que les recommandations sanitaires sont majoritairement connues et respectées avec une entorse ponctuelle pour la solidarité et la convivialité. Le premier facteur expliquant la persistance du circuit informel est en effet économique. Le souci de ne pas contaminer ses proches, acheteurs de sachets de viande, est majeur et repose sur l'appropriation des bonnes pratiques d'élevage et de diminution de contamination. Elles ont été probablement transmises par des éleveurs professionnels soucieux de limiter le risque de contamination de leurs proches. Le risque sanitaire principal identifié est l'automédication des animaux avec parfois des produits interdits, possiblement avec des doses inadaptées et une méconnaissance du temps d'élimination à respecter avant abattage. La complexité administrative semble sous-estimée et des acteurs comme Sanigwa ne peuvent absorber tous les besoins d'accompagnement administratif et technique des éleveurs et détenteurs.

Le projet est court et mériterait d'être poursuivi dans une démarche d'intelligence territoriale (Masselot, 2017) pour établir des recommandations de stratégies de communication auprès des institutions publiques, tenant compte notamment de la cohabitation culturelle (Samè, 2025) et des besoins de la population pour rompre avec cette incommunication.

Références bibliographiques

Guingal Paul, La littératie en santé : destinée à l'amélioration de la santé.? , *Santé publique* , n°36, 2024, pp.13-22.

Masselot Cyril. Temps, culture et communication au prisme de l'Intelligence Territoriale. *Les Cahiers de la SFSIC*, 2017, 13, pp. 51 à 61.

Pasquier, M. (2017). Communication des organisations publiques. De Boeck Supérieur Robert, P. (2025). De l'incommunication temporelle. *Hermès, La Revue*, 96(2), 71-77.

Samè, J. (2025). Des enjeux contemporains de la cohabitation culturelle L'incommunication en question. *Questions de communication*, 48(2), 347-366.

Données et intelligence artificielle au service de la gestion de la chlordécone aux Antilles : gouverner, centraliser, rendre accessible

Philippe Hunel^{1*}, Brice Labéjof^{2*}

¹ Université des Antilles, UFR STE / LAMIA

² Université des Antilles, UFR STE

* philippe.hunel@univ-antilles.fr

♦ Messages-clés :

- Sans gouvernance partagée de la donnée, les politiques publiques chlordécone resteront fragmentées et peu efficaces.
- Une plateforme souveraine de données fiabilisées et traçables est le prérequis indispensable à toute approche intégrée de l'exposome.
- Un assistant IA multi-publics, alimenté par des données validées, peut transformer en profondeur l'accès à l'information sur la chlordécone pour les populations, les chercheurs et les décideurs.

Mots-clés : *chlordécone, données, gouvernance, intelligence artificielle, exposome*

Contexte et enjeux

Trente ans après l'interdiction de la chlordécone aux Antilles françaises, la contamination des sols, des eaux et des organismes humains reste une réalité mesurée et documentée. L'ampleur de cette crise sanitaire et environnementale a justifié la mise en place de quatre Plans Nationaux d'Action Chlordécone (PNAC) successifs depuis 2008. Pourtant, malgré les investissements consentis en termes de surveillance, d'études épidémiologiques et de travaux de recherche, un problème structurel persiste : les données disponibles — contamination des sols, des eaux superficielles et souterraines, des denrées alimentaires, des matrices humaines — sont produites par une multitude d'acteurs (INRAE, CIRAD, IFREMER, offices de l'eau, ARS, DAAF, Santé Publique France, universités, etc.) et restent cloisonnées, peu harmonisées et difficiles à mobiliser conjointement.

L'analyse des données existantes selon les principes FAIR [4] révèle que leur accessibilité, leur interopérabilité et leur réutilisabilité demeurent globalement faibles, en particulier pour les données alimentaires et humaines [1]. Cette fragmentation n'est pas qu'un problème technique : dans un contexte de défiance persistante des populations antillaises envers les institutions, elle alimente une asymétrie d'information qui complique la gestion de l'exposition et nuit à la crédibilité des mesures de protection. Construire une architecture de données cohérente, fiable et accessible au plus grand nombre est dès lors une nécessité autant politique que scientifique.

C'est dans ce contexte que nous proposons une feuille de route articulée en trois étapes causalement liées : **Gouverner → Centraliser et fiabiliser → Rendre accessible via l'IA**, transversale aux enjeux environnementaux, sanitaires et sociétaux du colloque.

Matériel et méthodes

La première étape est organisationnelle. Elle consiste à mettre en place une gouvernance partagée de la donnée chlordécone, réunissant l'ensemble des acteurs producteurs et utilisateurs autour d'une charte de gouvernance, d'un comité de pilotage inter-institutionnel et d'un référentiel commun de données (formats, métadonnées, standards de validation). Ce type de gouvernance a été explicitement identifié comme manquant dans le rapport d'évaluation du troisième PNAC (Inspections Générales, 2020). Sans elle, il est vain d'espérer harmoniser les méthodes d'acquisition, garantir la reproductibilité des mesures dans le temps ou lever les freins au partage — qu'ils soient liés à la compétition entre équipes ou à la méconnaissance du cadre réglementaire RGPD.

La deuxième étape est technique. Elle vise à fédérer les données existantes au sein d'une plateforme numérique sécurisée, hébergée sur infrastructure souveraine en France, en s'appuyant sur les principes

du web sémantique (RDF¹, SPARQL², ontologies) pour relier les bases sans les fusionner — c'est l'architecture proposée par la Chlordecone Data Knowledge Platform (CDKP) [1]. Cette plateforme recensera et décrira l'ensemble des données disponibles (mesures sols en Guadeloupe et Martinique, bases Naïades et ADES pour les eaux, plans de surveillance alimentaire, chlordéconémies, cohortes Timoun et Kannari, etc.) et intégrera un système d'accès différencié : données ouvertes pour les usages de cartographie et d'information publique, accès sécurisé via le CASD pour les données de santé soumises au RGPD.

La troisième étape porte sur la valorisation et l'accessibilité. Il s'agit de déployer un assistant à intelligence artificielle, alimenté par la plateforme et ses données validées, capable de répondre aux questions des différents publics — agriculteurs, familles, médecins, chercheurs, gestionnaires — avec un langage adapté à chacun. Chaque réponse sera sourcée, datée et accompagnée d'un niveau de confiance explicite. Cette interface conversationnelle ne se contente pas de restituer l'information, elle agit comme un médiateur de connaissances. Comme le soulignent [5] dans leurs travaux sur l'IA généraliste, ces modèles permettent de combler le fossé entre les données brutes de recherche et les besoins décisionnels des différents acteurs, chercheurs, décideurs et citoyens travaillant à partir d'une réalité commune.

Résultats et discussion

Cette proposition n'a pas encore fait l'objet d'une mise en œuvre complète, mais ses fondements ont été expérimentés partiellement. Le projet KMS (Knowledge Management System) porté par l'Université des Antilles [2] a démontré la faisabilité technique d'un moteur unifié d'accès aux données de contamination par les pesticides en Guadeloupe et en Martinique. Les résultats montrent qu'il est possible de centraliser des données géolocalisées et datées issues de sources hétérogènes, et de les restituer via un portail web opérationnel. Ce prototype constitue la base sur laquelle la CDKP pourrait être développée.

Les bénéfices attendus de la démarche complète sont significatifs à plusieurs niveaux. Pour la recherche, l'interopérabilité des bases permettrait des études intégrées de l'exposome chlordécone, aujourd'hui impossibles du fait de la dispersion des données. Pour les politiques publiques, une plateforme fiabilisée renforcerait la qualité des bilans présentés en COPIL et la traçabilité des décisions réglementaires. Pour les populations, la mise à disposition d'un outil d'information clair et vérifiable, capable de traduire un jargon complexe en explications compréhensibles ce qui répondrait à une demande sociale forte et contribuerait à réduire la défiance.

Des limites importantes subsistent. La qualité des données en entrée conditionne directement celle des sorties de l'assistant IA : les discontinuités temporelles constatées dans certaine base comme Naïades ou les débats sur la persistance de la chlordécone dans les sols antillais [3] illustrent que des données imparfaites produiront des réponses incertaines. La gouvernance et la fiabilisation sont des préconditions indispensables. Par ailleurs, les obstacles juridiques — RGPD, protection des données de santé, secret statistique — resteront des points de friction incontournables, comme l'a montré la reconstitution de la cohorte de travailleurs bananiers. Ces limites plaident non pas contre la démarche, mais pour une mise en œuvre progressive, concertée et rigoureusement documentée.

Références bibliographiques

- [1] Benoit P, Hunel Ph., Garric J. (2026). Quelle évolution de la mise à disposition et l'utilisation des données pour une approche plus intégrée de l'exposition à la chlordécone ? In : « Chlordécone aux Antilles : De la caractérisation de la contamination de l'environnement et des impacts sur la santé aux perspectives d'action ... » Chapitre 11 (à paraître).
- [2] Hunel P, Gros-Dessormeaux H. (2024). KMS Chlordécone. Rapport Convention N° DRRT-2020-05, Université des Antilles.
- [3] Saaïdi P.L., Grunberger O., Samouelian A. et al. (2023). Is a dissipation half-life of 5 years for chlordecone in soils of the French West Indies relevant? *Environmental Pollution*, 324, 121283.
- [4] Wilkinson M., Dumontier M., Aalbersberg I. et al. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3, 160018.
- [5] Moor, M et al. (2023). "Foundation models for generalist medical artificial intelligence". *Nature*, 616(7956)

¹ RDF : **R**esource **D**escription **F**ramework, c'est la base de données (le contenu)

² SPARQL **P**rotocol and **R**DF **Q**uery **L**anguage, outil permettant d'interroger la base de données

Concevoir la prévention avec et pour la population : la démarche participative du projet « Messages chlอร์ดေးcone »

Céline Gentil-Sergent^{1*}, Corinne Delamaire¹, Pascal Jehannin¹, Anne-Juliette Serry¹, Jacques Rosine¹

¹ Santé publique France

* celine.gentil-sergent@santepubliquefrance.fr

♦ Messages-clés :

- La restauration de la confiance dans les messages de prévention est essentielle afin de réduire l'exposition alimentaire de la population à la chlอร์ดေးcone.
- La démarche participative de co-construction des messages a été saluée, rendant la population actrice au sujet de la chlอร์ดေးcone et de sa santé.
- La compréhension des recommandations est indispensable pour permettre l'action par la population, notamment la connaissance des processus des contaminations.
- Un label de participation citoyenne est un gage de confiance pour la population.

Mots-clés : *messages de prévention, population, communication, co-construction, confiance*

Contexte et enjeux

Pour réduire l'exposition à la chlอร์ดေးcone de la population Guadeloupéenne et Martiniquaise, des messages de prévention ont été proposés depuis plusieurs décennies. Néanmoins, ces recommandations ne sont pas adoptées par l'ensemble de la population. Dans le cadre de la Stratégie chlอร์ดေးcone, en 2020 Santé publique France (SpF) a été chargée d'élaborer des messages permettant aux populations Guadeloupéenne et Martiniquaise de réduire leur exposition alimentaire à la chlอร์ดေးcone. Un premier travail de réflexion porté par SpF – réunissant les acteurs de Promotion Santé Guadeloupe et Martinique, les services déconcentrés de l'Etat dont les Agences régionales de santé (ARS), des chercheurs et une association locale – a identifié des freins à l'application des recommandations par la population, en particulier la défiance vis-à-vis de la parole de l'État. Plusieurs travaux ont été conduits afin de trouver les moyens de lever ce frein. Mandaté par SpF, le bureau d'étude Behavioural Insights Team (BIT), a proposé, à partir d'une revue de la littérature, de poursuivre la démarche en se basant sur deux modèles théoriques : le modèle de Siegrist pour identifier les déterminants de la confiance dans les messages de santé publique – notamment de choisir des messagers qui soient à la fois compétents, impartiaux et familiers (1); et l'échelle de participation citoyenne d'Arnstein proposant différents niveaux de participation citoyenne, allant de la communication « descendante » jusqu'à la co-décision (2). L'un d'entre eux est la concertation qui implique plusieurs acteurs locaux et s'appuie sur des travaux en ateliers avec les habitants. Une étude qualitative auprès de la population a ensuite permis d'affiner la compréhension des freins et leviers, de tester les messages existants, d'explorer les déterminants de la confiance dans les recommandations, d'identifier des potentiels messagers de confiance et de tester différents dispositifs d'approche participative (3,4). A la suite de ces travaux, des ateliers de co-construction des messages ont été mis en œuvre et une étude qualitative pour tester des messages et supports (spots radio, dépliants, site internet, vidéo, un totem signalétique et un logo de « participation citoyenne ») a été réalisée.

Matériel et méthodes

Cette démarche participative a été réalisée en 3 étapes : (1) des ateliers de co-construction de nouveaux messages avec la population, (2) un transfert et une appropriation des productions des citoyens aux acteurs de la communication et (3) une étude qualitative avec des focus group auprès de la population pour tester les nouveaux supports proposés. (1) Fin 2023, quatre ateliers de co-construction de nouveaux messages de prévention, réunissant plus de 80 participants en Guadeloupe et Martinique ont été menés. Dans ces derniers, étaient représentés des catégories socio-professionnelles (CSP) diversifiées, certains participants résidaient dans des zones fortement contaminées et d'autres moins (sélectionnés 40 % sur panel et 60 % en aléatoire). Chaque atelier, conduit par des animateurs locaux, formés en approches participatives et citoyennes, comprenait quatre phases de 3h30 : apprentissage et échange avec des experts scientifiques et de terrain, discussion sur les freins au suivi des recommandations et priorisation de celles

à retravailler, co-construction des messages de prévention, et choix des messages à retenir. (2) Ces travaux ont été partagés avec l'ensemble des acteurs de la communication et de la prévention intervenant sur le sujet de la chlordécone afin qu'ils puissent s'approprier les productions des citoyens et proposer de nouveaux supports ou d'actualiser des anciens. (3) L'étude qualitative associant une nouvelle fois la population des deux territoires, a été lancée début 2024 pour vérifier que les supports de communication (notamment le contenu, le format et le ton utilisé) répondent bien aux attentes exprimées lors des ateliers. Près de 80 citoyens y ont participé (CSP, âge et lieu d'habitations variables). L'objectif était aussi de comparer la perception des messages co-construits ou non, ainsi que le niveau de confiance attribué à chacun. A également été testé l'intérêt potentiel d'un logo « participation citoyenne » apposé sur les supports en réponse à la défiance vis-à-vis des institutions (et de leurs logos).

Résultats et discussion

Les ateliers ont permis d'identifier plusieurs leviers de communication et abouti à une centaine de proposition de messages. Ils ont mis l'accent sur le besoin d'améliorer les connaissances de la population sur la chlordécone, pour une meilleure compréhension des processus de contamination et une appropriation des gestes de prévention. Ils ont également révélé la nécessité d'aider la population à se projeter dans l'action, au travers d'instructions claires et pédagogiques, et des supports d'information de type vidéo. D'autres leviers motivationnels ont été identifiés, tels que la protection de ses proches et la possibilité de consommer local et sain ; en favorisant l'adoption d'un langage plus direct, tourné vers l'action, utilisant des références et un imaginaire commun. Lors des ateliers, si la poursuite des programmes de sensibilisation tels que JaFa (Jardins Familiaux) est importante pour les participants ; ces derniers indiquent la nécessité de créer de nouveaux programmes, ou de former des « brigades » de citoyens référents sur la chlordécone capables de mener des actions de prévention. Lors des focus group portant sur les nouveaux supports de communication, les participants ont exprimé des attentes fortes en termes de démonstration de preuve et de conseils opérationnels. Les supports et leur diversité étaient positivement accueillis au point que les participants ont exprimé une sensation de « tournant », dans la considération portée à la vulnérabilité des populations, et dans la mobilisation des autorités sanitaires sur le sujet. Le logo de « participation citoyenne » et la démarche de co-construction ont été unanimement salués, synonymes de crédibilité et de signaux d'écoute des ressentis et besoins de la population. En conclusion, cette démarche participative a permis d'aborder un sujet complexe et clivant, celui de la chlordécone. Elle a permis une mobilisation des citoyens de Guadeloupe et Martinique en valorisant leurs vécus et leurs points de vue. Elle est révélatrice d'un espoir marqué sur les possibilités d'être acteurs face à leur exposition à la chlordécone et plus largement de leur santé.

Références bibliographiques

- (1) Siegrist J., 1996. Adverse health effects of high-efforts/low-reward conditions. *Journal of Occupational Health Psychology*, 1:27-41. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.1.1.27>
- (2) Arnstein S., 1969. A Ladder of Citizen Participation, *Journal of the American Institute of Planners*, 35, 4, p. 216-224. <https://doi.org/10.1080/01944366908977225>
- (3) Leask C., et al, 2019. Framework, principles and recommendations for utilising participatory methodologies in the co-creation and evaluation of public health interventions » *Research Involvement and Engagement*, 5:2. <https://doi.org/10.1186/s40900-018-0136-9>
- (4) Longworth G., et al, 2024. Conducting co-creation for public health in low and middle- income countries: a systematic review and key informant perspectives on implementation barriers and facilitators. *Global Health* 20, 9. <https://doi.org/10.1186/s12992-024-01014-2>

« Pa pran nou pou kouyon » : ethnographie des perceptions citoyennes du chlordécone en Martinique et en Guadeloupe (2022-2025)

Rubis Le Coq^{1*}

¹ CNRS, LEEISA (Cayenne, Guyane)

* rubis.le-coq@cnrs.fr

◆ Messages-clés :

- Le chlordécone est vécu comme une violence coloniale persistante, bien au-delà d'un simple risque sanitaire.
- Le décalage entre action publique et expériences citoyennes alimente méfiance et conflictualité.
- Les pratiques ordinaires (alimentaires, résidentielles) constituent des formes de résistance situées.
- Une politique efficace de santé environnementale nécessite reconnaissance, justice et réparation.

Mots-clés : *santé environnementale, gouvernement de crise, résistances, représentations sociales, caraïbes*

Contexte et enjeux

La pollution au chlordécone en Martinique et en Guadeloupe constitue l'un des scandales environnementaux et sanitaires les plus durables de l'histoire contemporaine française. Utilisé massivement dans les bananeraies entre 1972 et 1993, malgré la connaissance de sa toxicité et l'existence d'un régime dérogatoire, ce pesticide organochloré persistant contamine durablement les sols, les milieux aquatiques, la faune, la flore et les corps humains. Classé cancérigène probable et perturbateur endocrinien, le chlordécone est associé à des cancers de la prostate, à des troubles neurologiques et à des atteintes encore insuffisamment documentées concernant la santé des femmes.

Si les dimensions toxicologiques et épidémiologiques de cette pollution sont aujourd'hui bien établies, ses implications sociales, politiques et symboliques restent moins prises en compte par l'action publique. Depuis les années 2000, l'État français a déployé une série de dispositifs (Plans Chlordécone, campagnes d'information, dispositifs de surveillance et de recherche), principalement centrés sur la gestion sanitaire du risque. Pourtant, ces politiques rencontrent une réception locale marquée par la défiance, la colère ou le découragement, comme l'illustre la décision de non-lieu prononcée en 2023 dans la procédure judiciaire initiée en 2006.

Cet article part du constat d'un décalage persistant entre la réponse institutionnelle et les expériences citoyennes de la contamination. Il propose de considérer le chlordécone non seulement comme un toxique, mais comme un fait social total, révélateur de rapports de pouvoir postcoloniaux, de formes différenciées de citoyenneté et d'inégalités environnementales racialisées. Dans ce contexte, les habitant-es ne se contentent pas de subir la pollution : ils et elles la nomment, l'interprètent, la politisent et y répondent à travers des registres multiples (mobilisations, pratiques alimentaires, savoirs profanes).

L'enjeu central de cette recherche est ainsi de déplacer le regard : d'une approche technico-sanitaire du risque vers une anthropologie politique de la santé environnementale, attentive aux mémoires collectives, aux affects, aux résistances ordinaires et aux attentes de justice et de réparation.

Matériel et méthodes

L'analyse repose sur une ethnographie multi-située menée en Martinique et en Guadeloupe entre novembre 2022 et juillet 2025, dans le cadre du projet CHLOECAPA (Institut national du cancer). Cette enquête qualitative vise à documenter les perceptions citoyennes du chlordécone, ainsi que les formes d'appropriation, de contournement ou de résistance face à la pollution.

Le corpus comprend 60 entretiens semi-directifs réalisés auprès d'habitant-es exposé-es, d'ouvrier-es agricoles, d'agriculteur-ices, de pêcheur-ses, de militant-es associatif-ves, de soignant-es, de scientifiques

et d'agent-es de l'action publique. Ces données sont complétées par des observations ethnographiques, des journaux de terrain et un corpus photographique documentant mobilisations, graffitis, pancartes et dispositifs symboliques.

L'analyse combine une approche thématique et lexicale, permettant d'identifier les registres de discours mobilisés pour nommer la pollution et ses responsables, sans viser la représentativité statistique. Une attention particulière est portée aux usages sociaux du langage, aux catégories morales et politiques, ainsi qu'aux pratiques ordinaires (notamment alimentaires) en contexte contaminé.

La démarche s'inscrit dans une posture réflexive, inspirée de la méthodologie du *standpoint*, assumant une position située de la chercheuse et une volonté explicite de limiter les formes d'extractivisme scientifique. Cette ethnographie de longue durée privilégie la relation, l'écoute et la restitution, dans une perspective critique des hiérarchies entre savoirs scientifiques, institutionnels et expérientiels.

Résultats et discussion

Les résultats mettent en évidence une polarisation forte des régimes de discours autour du chlordécone. D'un côté, les institutions et les expert-es mobilisent un lexique technico-sanitaire (pollution, contamination, pesticide) inscrit dans une gestion probabiliste du risque. De l'autre, les habitant-es et les collectifs militants recourent à des termes moralement et politiquement chargés (« empoisonnement », « crime d'État », « génocide », « écocide ») qui requalifient la pollution comme une violence intentionnelle et systémique. Nommer le toxique devient ainsi un acte politique, visant à désigner des responsables et à pallier l'absence de reconnaissance judiciaire.

L'enquête montre également la centralité des mobilisations collectives (manifestations, actions judiciaires, performances artistiques, occupations symboliques), mais aussi leurs limites. Malgré une indignation largement partagée, l'engagement militant reste socialement situé et contraint, révélant un écart entre colère collective et capacité d'action. À côté de ces formes visibles de résistance, l'étude met en lumière des résistances ordinaires, souvent silencieuses, inscrites dans les pratiques alimentaires et les arbitrages quotidiens.

Les pratiques alimentaires en contexte contaminé apparaissent marquées par la confusion, l'incertitude et les contraintes économiques. Peu de personnes modifient radicalement leur alimentation, non par ignorance, mais en raison du coût de la vie, de l'attachement aux circuits informels, des injonctions contradictoires (« manger local » vs. traçabilité) et de la défiance envers les grandes surfaces dominées par des groupes héritiers du système plantationnaire. Ces arbitrages révèlent une inégalité sociale et raciale face à l'exposition, les classes populaires et les personnes racisées étant les plus contraintes.

En discussion, l'article montre que la gestion publique du chlordécone tend à individualiser la responsabilité du risque, tout en invisibilisant les dimensions historiques, politiques et affectives de la contamination. En neutralisant le conflit et en privilégiant des réponses techniques, l'action publique contribue paradoxalement à renforcer la défiance. Penser la santé environnementale dans ces territoires suppose donc de reconnaître les savoirs situés, d'affronter les héritages coloniaux et de prendre au sérieux les demandes de justice, d'indemnisation et de réparation.

Références bibliographiques

- Ferdinand, M. (2019). Une écologie décoloniale. Seuil.
- Boudia, S. & Jas, N. (2019). Gouverner un monde toxique. Quae.
- Fassin, D. (1996). L'espace politique de la santé. PUF.
- Gramaglia, C. (2023). Habiter la pollution industrielle. Presses des Mines.
- Bullard, R. D. (2018). Dumping in Dixie. Routledge.

Peut-on réparer les dommages de la pollution au chlordécone par la loi ? Contraintes, enjeux et portée de la proposition de loi N° 2061³

Fred Constant^{1*}

¹ PHEAAC UMR CNRS n°8350, Université des Antilles

Professeur des universités en science politique – Directeur du département droit et science politique

* fredconstant@hotmail.com

◆ Messages-clés :

La loi peut-elle contribuer à restaurer la confiance de la population antillaise à l'égard des autorités publiques notamment étatiques ? A la lumière du débat politique national et local (Guadeloupe et Martinique), cette communication examine les conditions auxquelles le véhicule législatif devrait satisfaire, pour participer à un processus de remédiation politique avec les populations exposées, dans un contexte insulaire marqué par la récurrence d'une crise socio-politique d'intensité variable.

Dans cette perspective, elle identifie une triple conditionnalité politique :

1. Reconnaître clairement la responsabilité de l'Etat dans les préjudices sanitaires, écologiques et économiques subis par les populations des Antilles, par suite de leur exposition au chlordécone ;
2. Engager une vaste opération de dépollution/décontamination des zones terrestres et maritimes concernées, en concertation avec les élus et administrés concernés ;
3. Indemniser des populations contaminées y compris indirectes, dans et hors du périmètre de leurs activités professionnelles, en s'appuyant sur des études épidémiologiques de qualité

Mots-clés : La loi, vecteur de remédiation politique ; responsabilité de l'Etat dans les préjudices subis ; dépollution/décontamination des espaces contaminés ; indemnisation des populations impactées ; co-construction avec les populations exposées

Contexte et enjeux

Cette communication constitue un point d'étape d'un travail de recherche pluriannuel, partie du volet sciences humaines et sociales, intégré dans le programme « Vivre avec le chlordécone : une co-construction basée sur des opportunités » (LICOCO), financé par l'Agence nationale de la recherche (2022-2027). Rattaché au WP3 (Analyse des représentations et des discours politiques), il se penche particulièrement sur la question de la remédiation politique, c'est-à-dire des conditions susceptibles de restaurer la confiance de la population dans la parole publique notamment d'Etat, sinon de réduire le sentiment de défiance qui parasite la communication de ses représentants à l'endroit de celle-ci.

Matériel et méthodes

Cette recherche s'appuie sur un important travail documentaire incluant la littérature grise produite par le parlement français, la littérature académique existante sur le sujet, la littérature militante notamment associative ainsi que divers documents émanant de l'administration française. Elle bénéficie aussi et surtout de données de première main recueillies auprès de parlementaires (sénateurs et députés de la majorité et de l'opposition), de leurs équipes de collaborateurs et des administrateurs des deux chambres, impliqués dans le travail législatif afférent. Enfin, elle a tiré également parti des résultats intermédiaires d'autres programmes de recherche menés sur la question des effets de la pollution au chlordécone, sur financement public (DEMETER, Institut national du cancer).

Résultats et discussion

Le texte de loi au cœur de cette recherche n'ayant pas fini son parcours législatif, les résultats qui seront présentés en juin prochain, seront probablement encore provisoires, à moins que la proposition de loi soit

³ Proposition de loi visant à reconnaître la responsabilité de l'Etat et à indemniser les victimes du chlordécone, n° 2061, déposée le mardi 16 janvier 2024.

définitivement adoptée d'ici là par le parlement et promulguée par le président de la République. Néanmoins, on présentera les enseignements du débat parlementaire, les rapports partisans au texte en discussion, les dispositions au cœur du bras de fer entre opposition et majorité et les termes des alignements et désalignements des groupes politiques lors du vote/rejet des amendements. A l'évidence, le rôle du gouvernement sera examiné en amont, pendant et en aval des séances concernées. De même, on scrutera le jeu des parlementaires d'outre-mer, loin de faire systématiquement cause commune sur ce texte. En les comparant aux revendications des associations des victimes du chlordécone, on évaluera à priori si les dispositions du texte en cours de discussion parlementaire, sont susceptibles ou non de leur apporter les éléments de réponse attendus. Ce qui nous permettra d'examiner par là-même les dispositions que le véhicule législatif devrait réunir, pour contribuer efficacement à un processus de remédiation politique avec les populations exposées, c'est-à-dire au (r)établissement de liens de confiance avec les autorités publiques (notamment) étatiques nationales et locales.

Références bibliographiques

Justine Bénin, Serge Letchimy *Rapport de la commission d'enquête parlementaire sur le chlordécone*, Paris, Assemblée nationale, 2019.

Fred Constant, *Géopolitique des outre-mer. Entre déclassé et (re)valorisation*, Paris, Le Cavalier bleu, 2023.

Malcolm Ferdinand, *Pour une écologie décoloniale. Penser l'écologie depuis le monde caribéen*, Paris, éditions du Seuil, 2023.

Philippe Verdol, *Le chlordécone aux Antilles françaises : politiques publiques de gestion de la crise*, Paris, L'Harmattan, 2020.

PARTIE 2
CONFÉRENCE « GRANDE TÉMOIN »

CONFÉRENCE « GRANDE TÉMOIN »

Du scandale politique au vécu intime : ce que le chlordécone produit au quotidien dans les vies des populations antillaises

Jessica Oublié (autrice de bande dessinée)

Mesdames, Messieurs,

J'ai la lourde responsabilité de prendre la parole après trois jours de colloque, quelques centaines de diapositives, une bonne dose de stress et la pause déjeuner. Donc statistiquement, à cet instant précis, une partie d'entre vous est en train de lutter contre un phénomène encore très mal étudié par la recherche : le coma lipidique post-self universitaire.

Alors, pour bénéficier le plus possible de votre attention, je vous propose de convoquer une autre tradition de transmission des savoirs : celle du conte antillais.

Quand je dirai « **Yékrik ?** », vous répondrez « **Yékrak !** ».

Quand je dirai « **Yemistikri ?** », vous répondrez « **Yemistikra !** ».

Et si je demande : « **Est-ce que la cour dort ?** », vous répondrez : « **Non, la cour ne dort pas !** »

Voilà. Maintenant que nous avons conclu ce protocole scientifique essentiel, je peux commencer.

PARTIE 1 – D'UNE COUR A L'AUTRE

Je voudrais d'abord dire combien je suis honorée d'avoir été invitée aujourd'hui comme grand témoin de ce colloque.

Cette invitation a pour moi quelque chose de particulièrement émouvant. D'abord parce qu'il est rare qu'une autrice de bande dessinée soit invitée à partager son regard sur la société en dehors des festivals, des librairies, des établissements scolaires ou des manifestations culturelles. Ensuite parce qu'elle m'offre l'occasion de revenir sur huit années de rencontres, d'enquête et de médiation autour de la chlordécone. Mais surtout parce qu'elle émane d'un monde auquel j'étais encore totalement étrangère il y a quelques années.

Je sais notamment devoir cette présence aujourd'hui à trois femmes qui ont contribué, chacune à leur manière, à construire ce pont entre la recherche scientifique, l'action publique et le travail que je mène comme autrice : Edwige Duclay, Aurore Fourcot et Maïlie Saint-Hilaire. Je tiens à les en remercier, chaleureusement.

Octobre 2017. Je viens de publier mon premier roman graphique documentaire sur la migration institutionnalisée des populations des départements d'outre-mer vers la France hexagonale ; et c'est en enquêtant sur cette histoire de départ que m'est venue l'envie de faire le chemin inverse : quitter Paris où je suis née pour m'installer en Guadeloupe auprès de mes grands-parents, sur le sol de ma terre-mère.

Mais très vite, la vision « carte postale » de ce retour se transforme en LMR, une notion à l'époque très abstraite pour moi. On est alors en février 2018, le documentaire « Chlordécone : et si le scandale était ailleurs ? » de Cécile Marre, journaliste à Martinique la 1^{ère}, me fait l'effet d'un coup de tonnerre.

L'information est reprise massivement dans les autres médias. Mon rêve de retour dans ce pays que j'avais tant fantasmé prend fin avant même de n'avoir commencé.

Alors quelques mois plus tard, pour ne plus avoir peur, pour comprendre, pour ne pas faire marche-arrière, je me rends au premier colloque scientifique chlordécone organisé en octobre 2018 à Fort-de-France.

J'ai alors l'espoir de convaincre quelques chercheurs de m'accorder un entretien... Alors oui, présenté comme cela aujourd'hui, cela paraît presque... banal. Mais à l'époque, j'étais persuadée que plusieurs d'entre eux me répondraient : « Quoi ? Une bande dessinée ? »

D'ailleurs, soyons honnêtes : qui parmi vous aurait accepté de se lancer dans cette aventure à mes côtés il y a 8 ans ? Tenez, par exemple vous Monsieur ? Et vous, Madame ?

Eh bien, celle ou celui qui pense que l'art et la science sont antinomiques ne connaît probablement pas notre cour. C'est d'abord avec **Luc, 63 ans à l'époque, épidémiologiste, directeur de Recherche Émérite à l'Inserm**, que j'ai avant tout fait cette expérience. Écoutons-le :

« Une bande dessinée sur la chlordécone ? Quelle idée surprenante ! Des documentaires, des émissions de radio ou des reportages télévisés, oui, à cela j'ai déjà participé. Mais une BD ? Cela est novateur par rapport à ce qui existe aujourd'hui sur le sujet. À une époque où circulent beaucoup d'informations mais aussi beaucoup de désinformation, c'est peut-être une bonne manière de raconter à la fois l'histoire du dossier, les connaissances scientifiques et la façon dont les gens vivent cette pollution. »

Et puis, comme dans une bonne BD il y a forcément de mon point de vue une héroïne, j'ai sollicité **Sarra, 50 ans, enseignante-chercheuse en chimie à l'université des Antilles** :

« Une BD peut aussi bien s'adresser à des jeunes qu'à des adultes. Et puis cela permettrait de rendre plus accessibles des connaissances scientifiques qui restent souvent confinées aux laboratoires ou aux publications spécialisées. En Guadeloupe, nous sommes encore peu nombreux à travailler sur la chlordécone et ce projet pourrait aussi donner à voir les recherches menées localement. Ce qui me plaît surtout, c'est qu'il croise les regards historiques, sociologiques et scientifiques. Car pour comprendre cette pollution et construire des solutions, il faut accepter de regarder le problème dans son ensemble. »

Le premier jour du colloque de 2018, je me souviens avoir pris place timidement au fond de la salle — non loin du dernier rang — dans une salle pleine de professionnels dont les dénominations métiers m'étaient toutes étrangères : écotoxicologues, agro-hydrologues, hydropédologues et j'en passe.

Pour reprendre les catégories évoquées par Nicolas Duracka en conférence d'ouverture de ce colloque, je pense que je souffrais alors d'une forme très avancée « d'a-communication ».

Et puis, à travers leurs questions, j'ai observé que les spécialistes aussi avaient parfois besoin que leurs collègues d'autres disciplines leur traduisent ce qui venait d'être dit, parce que même dans une assemblée d'éminents scientifiques, comprendre n'est pas toujours une donnée d'entrée, c'est avant tout le résultat d'un effort collectif.

Et vous savez que lorsque la cour ne dort pas, elle ne se contente pas d'écouter ; elle questionne, elle reformule, elle traduit, elle cherche à construire les conditions internes de son intelligibilité.

Ils sont trop nombreux pour être cités mais leur confiance a véritablement nourri l'écriture de ma bande dessinée et a aussi transformé mon regard sur le rôle des sciences dans notre société.

Je voudrais néanmoins saisir l'occasion de cette tribune pour de nouveau les remercier et formuler une pensée émue à l'endroit du professeur Cyril Feidt, enseignant-chercheur à l'ENSAIA à Nancy, qui m'avait accueillie quelques jours dans son école et également chez lui, en 2019 et qui depuis nous a quittés.

C'est donc depuis cette place — celle d'une autrice ayant circulé entre les mondes, les laboratoires de recherche, les archives institutionnelles, les exploitations agricoles, les rédactions de presse, les salles de classe, les territoires et les récits de vie — que je voudrais aujourd'hui témoigner de ce que les deux années d'écriture-enquête de *Tropiques toxiques*, puis les années de post-publication de la BD, m'ont appris sur :

- ce que produit le temps long du problème chlordécone sur les vécus intimes et collectifs des populations antillaises,
- sur la manière dont les savoirs scientifiques circulent, sont reçus, appropriés ou contestés ;
- et sur ce que l'engagement artistique peut peut-être apporter dans un contexte où les chiffres, à eux seuls, ne suffisent plus toujours à produire du lien, de la confiance ou une véritable appropriation collective des connaissances.

Yékrik ?

Yékrak !

Yemistikri ?

Yemistikra !

Est-ce que la cour dort ?

Non, la cour ne dort pas !

PARTIE 2 – Vivre avec le chlordécone

Commençons par un truisme : il n'existe pas une expérience unique du chlordécone mais une multitude de manières de vivre avec cette pollution.

Pour certains, elle est une préoccupation quotidienne. Pour d'autres, un sujet lointain. Pour d'autres encore, une inquiétude intermittente que l'on tient à distance.

Entre la connaissance, l'inquiétude, l'adaptation, la mobilisation ou parfois la lassitude, les récits que j'ai recueillis racontent avant tout la diversité des rapports que les populations entretiennent avec elle.

Les premiers à avoir dû composer avec les conséquences du chlordécone ont sans doute été les acteurs des filières agricoles. Bien avant que la pollution ne devienne un sujet de débat public, ils ont dû adapter leurs pratiques, leurs productions et souvent leur manière d'exercer leur métier.

Madeleine, éleveuse de bovins dans le croissant bananier et responsable de la coopérative Sica PEBA se souvient :

« Avant, les éleveurs envoyaient leurs animaux à l'abattoir et certains étaient saisis à cause de la contamination. Ils perdaient leur bête et n'étaient pas indemnisés. Beaucoup se sont découragés et ont arrêté leur élevage, parce que c'est de cela qu'ils vivent. Aujourd'hui, avec les prises de sang réalisées en amont et tout le processus de décontamination de SANIGWA, on évite d'abattre inutilement les animaux. Pour nous, éleveurs de Basse-Terre, c'est une vraie avancée. »

Quant à elle, dans son cabinet médical, **Jessica, 45 ans, médecin généraliste au Robert**, est aux premières loges pour observer la manière dont sa patientèle se saisit de la question du chlordécone :

« Il y a eu un moment où tous mes patients voulaient faire une chlordéconémie. Maintenant qu'elle est gratuite, ils ne m'en parlent presque plus. En tant que médecin, lorsqu'un patient présente un taux élevé, on ne sait pas toujours quelle prise en charge proposer. Et c'est vrai que si on n'a pas de sensibilité spécifique pour la question de la santé environnementale, ça peut être difficile de s'y retrouver. Le protocole de l'ARS fonctionne bien pour les recommandations alimentaires, mais il reste beaucoup de flou sur le suivi médical et l'indemnisation des ouvriers agricoles. Et puis il y a aujourd'hui d'autres problématiques de santé environnementale, comme les sargasses, dont les effets, contrairement au chlordécone, sont beaucoup plus visibles. Au fond, je me demande si les gens ne se sont pas résignés ? »

Résignés... Je me demande si c'est le terme que j'aurais personnellement choisi... ?

Alors, un mercredi soir de mai 2026 à 18h, je vais à la Maison des Syndicats de Fort-de-France. J'y rencontre les membres du Collectif Lyennaj pou dépolyé Matinik qui s'y retrouvent chaque semaine pour notamment parler chlordécone et rechercher des solutions.

Parmi eux, le représentant du collectif, Phillipe, syndicaliste une cinquantaine d'années d'engagement militant à CDMT, me dit :

« Il y a 8 ans, quand on distribuait des tracts dans la rue aux passants, les gens considéraient que cela ne servait à rien, que c'était trop tard, que ce n'était plus le temps de l'information. Aujourd'hui, personne ne nie que le chlordécone est un problème. Le fait qu'il y ait des fautes qui aient été reconnues a aidé. L'action sociale a notamment permis que des avocats se réunissent, que des dossiers que nous portions comme la gratuité de la chlordéconémie, aboutissent, cela a aussi changé la donne... On se bat au quotidien pour que le grand public comprenne que sa propre mobilisation peut aider à faire évoluer la situation mais on se heurte à un certain scepticisme. Il ne considère pas ce qui a été acquis, il ne se rend pas compte que c'est la mobilisation qui a fait évoluer les choses. »

D'autres personnes rencontrées entretiennent avec le sujet un rapport beaucoup plus distancié. C'est le cas de Monique, 72 ans, retraitée de la fonction publique hospitalière, vivant au Marin :

« Le chlordécone, ce n'est pas une préoccupation quotidienne parce que je n'ai pas vécu en Martinique. Ils disent qu'il faut travailler dans l'agriculture pour l'attraper alors je ne me sens pas concernée... La semaine dernière, je suis allée au laboratoire pour faire une prise de sang pour mon problème d'hémoglobine et la laborantine m'a proposée une chlordéconémie. J'ai accepté. Je n'ai pas peur du résultat parce que j'ai vécu en métropole de 1972 à 2011. En plus, je ne vais jamais au restaurant. Je mange surtout chez moi des aliments que j'ai personnellement achetés au marché ou dans les grandes surfaces. »

Monique ne nie pas l'existence de la pollution, elle la se situe simplement ailleurs : dans les champs, chez les agriculteurs, dans la vie des autres.

Nicolas, 50 ans, chef d'entreprise à Petit-Bourg en Guadeloupe tient un discours assez proche :

« Le chlordécone, je n'y pense pas du tout parce qu'en tant que chef d'entreprise, j'ai d'autres soucis. Je m'y intéresserais peut-être si j'étais dans le domaine de l'agriculture. C'est vrai que c'est un sujet d'actualité, mais j'ai d'autres actualités plus concrètes à gérer à court terme. »

En Guadeloupe, 34 % des personnes vivent sous le seuil de pauvreté, 32 % ne sont pas diplômées et 19 % des 15-64 ans sont au chômage. Dans ces conditions, le chlordécone n'est pas absent des préoccupations, simplement, là encore, chacun établit la hiérarchie de ses préoccupations immédiates au regard des problèmes auquel il est directement confronté.

Et puis, dans une bananeraie du Vauclin, je rencontre Thierry, 53 ans, ouvrier agricole dans la banane depuis près de quarante ans. Lorsque nous échangeons, certaines de ses réponses me surprennent :

« Y a pas longtemps, j'ai fait la formation pour mettre les produits pesticides. Il y a des choses qu'on ne savait pas et qu'on nous a expliquées. Aujourd'hui, on fait quand même moins les produits, on utilise plus la débroussailleuse. Avant, il n'y avait pas de formation, les gens faisaient n'importe quoi. Mais en 40 ans, je n'ai jamais vu personne tomber malade. C'est pas des choses qu'on parle au travail non plus. C'est toi qui m'apprends qu'il y a une association pour s'occuper des malades et qu'on peut avoir une aide en tant qu'ouvrier agricole. Pour l'analyse de sang, je sais que ça existe. Mais je ne pense pas avoir besoin d'y aller. »

Le témoignage de Thierry m'évoque cette analogie formulée par l'épidémiologiste Luc Multigner en ouverture de sa communication du colloque de 2018. « Le danger, c'est le couteau de cuisine pour un enfant. S'il est sur la table, le risque est élevé, s'il est en hauteur ou sous clé, le risque est quasi nul ».

Le couteau de Thierry semble être resté si longtemps sur la table qu'il finit par ne plus attirer son regard... Son témoignage dit quelque chose de l'écart qui peut exister entre une réalité scientifique désormais bien documentée et la manière dont celle-ci est perçue par celles et ceux qui y ont été les plus directement exposés.

Il pose aussi, plus largement, la question de la circulation des connaissances : comment les savoirs produits sur le chlordécone parviennent-ils — ou ne parviennent-ils pas — jusqu'aux personnes directement concernées ?

C'est pour cette raison que j'ai été particulièrement heureuse que le colloque soit co-ouvert par Madame la Rectrice de l'académie de Martinique.

Depuis huit ans, l'une des principales questions qui m'accompagne est précisément celle de la transmission. Une pollution dont les effets vont continuer à structurer durablement les territoires antillais ne peut pas rester uniquement un sujet d'experts ou d'adultes.

Elle doit aussi et surtout trouver sa place dans les parcours d'enseignement afin que les jeunes générations puissent comprendre le territoire dans lequel elles vivent et les enjeux auxquels elles sont déjà confrontées.

C'est d'ailleurs auprès des jeunes que j'ai pris la mesure des inégalités de transmission qui entourent encore le sujet du chlordécone.

En intervenant au Marigot, dans un collège, je rencontre Keyla, âgée de treize ans, pour qui :

« Le chlordécone est un produit toxique que presque tout le monde a en Martinique. Il est très dangereux pour l'être humain et qui peut donner des cancers. Dans ma famille, on fait attention à ce qu'on mange. On va surtout acheter chez les producteurs qui n'ont pas de chlordécone sur leur plantation. »

Dans un lycée du Lamentin en Guadeloupe, je croise Christopher, dix-huit ans, qui un peu gêné me dit :

« J'ai entendu parler de ça vite fait dans les médias mais j'avoue je me suis pas trop intéressé... A l'école, on n'en a pas parlé. Je sais que c'est en lien avec la banane, après le reste... je ne sais pas. »

Voilà deux jeunes vivant sur des territoires concernés par la même pollution qui en ont une connaissance profondément différente. Pourtant, la chlordécone n'est ni un sujet marginal, ni un simple épisode du passé.

C'est un enjeu de santé publique, d'environnement et de citoyenneté qui continue de produire des effets dans le quotidien des populations antillaises.

La compréhension que les jeunes ont de cette pollution est le reflet de la place que nous choisissons collectivement d'accorder à ce sujet dans les parcours de formation des jeunes générations. Et dans ce domaine, il y a encore beaucoup, beaucoup à faire, dans nos deux territoires - et en particulier en Guadeloupe.

Mais Séverine, 43 ans, enseignante de SVT et formatrice semble beaucoup plus optimiste que moi.
Écoutons-la :

« Les enseignants se saisissent de plus en plus de cette problématique, souvent grâce à quelques collègues qui vont être moteur pour porter des projets dans leur établissement. Le chlordécone est une question socialement vive. Tout le monde ne peut pas s'y investir de la même manière. Parce qu'elle nous demande de faire une introspection, de digérer et d'assimiler des quantités d'informations très importantes qui peuvent se retrouver assez éloignées de nos cadres théoriques habituels. Parce qu'il implique une compréhension des controverses, l'enseignement de la chlordécone nous demande une prise de conscience de nos incertitudes, une compréhension de tous les éléments qui sont en négociation pour pouvoir en faire un objet d'étude. L'enseigner, c'est donc accepter de travailler avec des incertitudes, des controverses et de montrer aux élèves comment les sciences, les techniques et la société dialoguent entre elles. C'est un enjeu fort pour former de futurs citoyens. »

Je me suis aussi intéressée à ce qui est et serait transmis de ce récit au sein des familles dont les engagements militants sont établis depuis plusieurs générations. J'ai donc appelé **Zaka, attaché temporaire d'enseignement et de recherche en science politique à l'université des Antilles en Martinique et directeur éditorial et fondateur de la revue Zist :**

« Mes parents étaient engagés dans les mouvements d'écologie politique et de défense des paysans sans terre de la fin des années 1970. Très jeune, j'ai participé avec eux à des marches contre les pesticides, notamment le chlordécone. Ce que je retiens aujourd'hui, c'est le temps perdu à cause du déni, des hésitations et des calculs politiques. Malgré les avancées de ces dernières années, le chlordécone reste une problématique irrésolue qui nourrit une profonde frustration sociale. Un jour, je parlerai de tout cela à mon petit garçon. Et je lui dirai que c'est en agissant que l'on peut changer les choses et qu'il lui appartiendra, sans doute, de poursuivre ce combat. »

En écoutant Zaka, je me suis demandé quels mots nos propres enfants utiliseront pour raconter à leur tour cette histoire à leur descendance ?

Parleront-ils d'un écocide ? D'une erreur administrative ? De plan de contrôle et de surveillance ? De zones de restriction de pêche ? De suivi de cohortes ? D'un énième scandale sanitaire sans coupable ? D'exposome ? De la victoire du profit sur les communs et l'intérêt collectif ? De VTR ? Ou encore du poids persistant des héritages coloniaux sur les vécus et destinées des populations antillaises ?

Puisque la cour ne dort pas, je crois que l'histoire n'a pas là non plus dit son dernier mot.

Mais au fond, lorsqu'on écoute attentivement ces récits, un même narratif traverse la plupart des témoignages recueillis : tous racontent, d'une manière ou d'une autre, une expérience du temps.

Le temps de l'attente. Celui de l'inquiétude. Le temps de la mobilisation. Celui du découragement. Le temps de la recherche scientifique. Celui de l'action publique et celui, plus lent encore, des effets de la pollution sur les corps, les pratiques sociales et culturelles. Car... pour qui vit dans ces territoires, le chlordécone est aussi une perturbation profonde du rapport au temps.

Yékrik ?

Yékrak !

Yemistikri ?

Yemistikra !

Est-ce que la cour dort ?

Non, la cour ne dort pas !

PARTIE 3 – Une perturbation du rapport au temps

Le chlordécone ne se contente pas d'occuper l'espace physique, biologique, social, médiatique, politique. Il semble désynchroniser plusieurs temporalités qui coexistent : le temps de la connaissance scientifique, de l'action publique, de la justice, de l'intime et, plus largement encore, celui de la transmission entre les générations.

Pour reprendre la formule du chercheur de l'INRAE Pierre-Benoît JOLY, dans ce qu'il nomme « la Saga du chlordécone aux Antilles françaises », il y a eu je crois un premier **temps de la production des savoirs sur le sujet dans les années 1960-1970** identifiant les effets neurotoxiques, les atteintes à la reproduction, les impacts hépatiques ainsi que les risques liés à sa persistance environnementale notamment à partir de la pollution industrielle à Hopewell en 1975 aux États-Unis.

Puis, **un temps de disparition de la scène publique des savoirs produits** avec la mise en marché du produit et son utilisation aux Antilles à partir de 1972, suivi – à partir des années 1990 – et plus particulièrement de 1999 avec l'alerte lancée en par Éric Godard, ancien ingénieur sanitaire à l'ARS Martinique – d'une séquence de **reformulation et de remise en circulation des savoirs** dont la portée sociale n'avait jusque-là pas produit toutes ses conséquences en matière de gestion du risque et de prévention.

Avec l'affaire des patates douces martiniquaises détruites à Dunkerque en 2002, puis l'affaire Belpomme en 2007, **s'ouvre dès lors ce que l'on pourrait appeler le temps de la scandalisation** avec des révélations médiatiques, des mobilisations citoyennes, des commissions parlementaires, des expertises scientifiques, des procédures judiciaires et des controverses publiques qui... ont progressivement transformé une pollution environnementale... en un problème politique majeur.

Pour mieux comprendre ce qu'est un scandale du point de vue de la sociologie des médias, je vous propose d'écouter Cyril Lemieux, sociologue à l'Ecole des hautes Etudes en Sciences Sociales :

« Le scandale porte toujours en lui une promesse implicite : celle que la révélation des faits permettra d'établir les responsabilités, de reconnaître les préjudices subis et d'ouvrir un chemin vers la réparation. »

Selon ce postulat, on comprend que la mécanique du scandale chlordécone semble dorénavant... grippée. Le non-lieu prononcé en janvier 2023 et confirmé ce lundi 22 juin constitue un moment de rupture voire un point de non-retour parce qu'il est vécu – par de nombreux citoyens - comme le signe que les temporalités judiciaire, scientifique, administrative et citoyenne de ce dossier ne convergeront probablement jamais.

J'entends souvent, derrière les paroles recueillies, tout comme celles formulées depuis la salle ce matin, quelque chose qui ressemble moins à une forme de colère sèche qu'à l'expression d'une profonde altération du lien civique.

Comme si, chez certains Guadeloupéens et Martiniquais, s'étaient brisées plus ou moins définitivement certaines croyances républicaines fondamentales : la conviction que les responsabilités seront un jour établies ; que les préjudices subis trouveront une traduction juridique à la hauteur des pertes ; que les institutions se doteront des moyens de répondre aux demandes de réparation qu'ils ont légitimement formulées.

Je ne sais pas encore comment nommer précisément cette nouvelle période. L'histoire en cours nous permettra, après coup, de mieux la qualifier.

En attendant, vous, chercheurs, continuez de produire des connaissances. Les parlementaires, eux, font voter des lois. Les associations continuent de militer pour challenger la puissance publique dans ses prérogatives d'intervention sur le sujet. Les institutions déploient des dispositifs de gestion de la pollution. Les citoyens continuent de s'inquiéter, d'autres de s'indigner, certains de vivre dans l'ultra-vigilance, et

d'autres de se sentir peu concernés. Et tous autant que nous sommes, nous évoluons dans des horizons d'attente – un temps écologique et un temps administratif - qui peinent encore à se rencontrer et à l'intersection desquels se joue une autre temporalité : celle des existences du quotidien.

Ce fait total que constitue le chlordécone préexiste à une multitude de décisions ordinaires : le fait d'avoir sereinement un enfant ou non, le choix de son lieu de vie, le choix conscient des aliments que l'on consomme, le choix des pratiques culturelles et des connaissances que l'on transmet à ses enfants, le choix des projets que l'on construit pour l'avenir.

Or cette temporalité de l'intime ne se cale sur aucune autre. Elle ne peut être suspendue dans l'attente d'un résultat scientifique, d'une expertise complémentaire ou d'une décision de justice.

Cette pollution qui durera... toutes les vies... oblige les individus à construire leur existence, vaille que vaille, coûte que coûte, ki ou vlé ki ou vlé pa... dans un contexte où les incertitudes sont aussi nombreuses que les certitudes.

In fine, elle nous conduit individuellement à nous demander comment nous voulons habiter le présent lorsqu'une partie du passé demeure irrésolue et que ses effets pèsent déjà sur l'avenir.

Yékrik ?

Yékrak !

Yemistikri ?

Yemistikra !

Est-ce que la cour dort ?

Non, la cour ne dort pas !

PARTIE 4 – Quand savoir ne suffit plus

Les cartes de contamination, les mécanismes de transfert de la molécule, les voies d'exposition, les risques sanitaires encourus par les différents profils de population, les niveaux de contamination des individus – tout ceci a fourni aux décideurs publics les premiers éléments nécessaires à la construction d'une politique de santé publique visant à réduire l'exposition des populations.

Pour autant, ces connaissances peinent encore à être pleinement appropriées par une partie de la population. Après bientôt vingt ans de Plans chlordécone, le sujet demeure encore largement un sujet de sachants, 14% à 18% des personnes testées selon les territoires dépassent la VTR fixée par les autorités, et 81 à 85% des 800.000 personnes vivant en Guadeloupe et en Martinique ont encore du chlordécone dans leur sang.

J'ai interrogé à ce sujet Axelle, 41 ans, Responsable du Pôle Santé environnement par intérim à Promotion Santé qui a accepté de me partager son constat de terrain :

« Certains bénéficiaires comprennent les recommandations mais ne les mettent pas en œuvre parce qu'il y a un réel coût à la transformation. Un coût économique parfois mais surtout culturel. Abandonner ou modifier sa pratique du jardin créole lorsque son sol est pollué, c'est mettre en balance la question de la santé face à la question du plaisir qu'un auto-consommateur peut avoir à cultiver son jardin au quotidien, à être en relation avec sa terre, son milieu. Quand on propose aux personnes de changer leur façon de faire, cela leur demande non seulement de revoir leur façon de vivre mais aussi leur identité. »

Là où les savoirs scientifiques ont parfois besoin de découper le réel pour mieux le comprendre, les populations antillaises font l'expérience quotidienne d'un problème qui se présente à elles dans toute son épaisseur sociale. Cette différence de perspective contribue peut-être à expliquer pourquoi certaines connaissances, pourtant solidement établies, peinent parfois à trouver une traduction immédiate dans les pratiques ou les représentations sociales.

La seconde hypothèse concerne le décalage entre les temporalités du dossier. Pendant longtemps, la communication publique a davantage porté sur l'image politique de la pollution et sa gestion que sur sa médiation sociale. La question de la vulgarisation et de l'appropriation citoyenne me semble émerger plus clairement autour du colloque de 2018, avant d'être pleinement intégrée au Plan chlordécone IV. Ce qui est donc finalement très récent.

Et puis il y a un troisième niveau de lecture. Les connaissances scientifiques produites arrivent dans un contexte où coexistent une mémoire coloniale, un sentiment ancien d'injustice, des attentes de reconnaissance et des désaccords sur une demande de réparation originelle.

D'un point de vue du citoyen, il existe donc un décalage entre les réponses proposées par l'action publique - souvent orientées vers l'encadrement du risque - et les attentes sociales qui, elles, relèvent davantage de la demande de justice historique, sociale et environnementale.

Tous ces facteurs contribuent à produire de la « friture » sur la ligne de réception des connaissances scientifiques produites et donc des difficultés à faciliter leur appropriation sociale. C'est là... que peut-être modestement... l'art, la culture, les pratiques de médiation peuvent avoir une contribution à apporter.

Yékrik ?

Yékrak !

Yemistikri ?

Yemistikra !

Est-ce que la cour dort ?

Non, la cour ne dort pas !

PARTIE 5 – Ce que l'art rend possible

Les presque cinquante années de connaissances produites par la recherche scientifique internationale sur le chlordécone ne sont pas restées confinées aux laboratoires et aux revues scientifiques. Des artistes, des auteurs, des compagnies de théâtre, des cinéastes s'en sont saisis pour proposer au public d'autres manières de comprendre cette pollution par le récit, l'émotion, l'expérience sensible et le débat citoyen.

Parmi les artistes rencontrés, **Chantal, 57 ans, Chorégraphe, danseuse, interprète et directrice artistique de la Cie Difé Kako qui voulait mettre en regard la pollution avec la question coloniale. A propos de son spectacle Joséphine 2B, elle me confie :**

« En tant que chorégraphe guadeloupéenne, je travaille depuis longtemps sur les histoires des peuples afro-descendants et du commerce triangulaire. Pour moi, le chlordécone s'inscrit dans cette histoire coloniale. L'art permet de transmettre ces récits à des publics qui ne vivent pas dans les mêmes pays et ne parlent pas la même langue. Avec ce spectacle, je voulais créer un dialogue entre les figures de Joséphine Baker et Joséphine de Beauharnais, faire un lien entre la ceinture de bananes et l'économie de plantation, pour sensibiliser les jeunes publics à cette histoire et à l'importance de questionner son rapport à la terre et à ce que l'on mange. »

Si des œuvres comme Joséphine 2B sont des invitations à relire le passé, d'autres ouvrent aussi un espace pour imaginer ce qui n'existe pas encore. **C'est le choix qu'a fait Myriam Soulanges, chorégraphe et danseuse guadeloupéenne :**

« La danse permet d'aborder autrement des questions qui peuvent sembler complexes ou abstraites pour le grand public. Le corps est au cœur de la pollution au chlordécone : ce sont des corps exposés, contaminés, rendus vulnérables. La danse permet de rendre visibles ces expériences humaines et de faire ressentir ce que les chiffres, les rapports ou les discours ne suffisent pas toujours à transmettre. En nous inspirant de l'afrofuturisme, nous avons imaginé un monde où les bananes sont bleues et où les êtres humains sont devenus des cyborgs. Cette figure n'est pas celle d'une déshumanisation, mais au contraire celle d'une réappropriation : des êtres transformés qui ont survécu à la contamination et se sont affranchis des systèmes d'oppression qui l'ont rendue possible. Notre intention n'était pas seulement de dénoncer, mais aussi d'ouvrir un espace d'émancipation et d'invention politique. Le message que nous souhaitons transmettre est que, face à l'injustice, il est nécessaire de continuer à imaginer et à construire des futurs fondés sur la réparation, la dignité et la justice. »

Ces œuvres ont parfois été rendu possible parce que des chercheurs ont accepté de faire un pas de côté par rapport à leur quotidien professionnel et de voir eux-mêmes leurs objets de recherche s'élargir dans ce nouveau compagnonnage. **Je pense notamment à Hervé, 62 ans, chargé de recherche à l'IRD. Écoutons-le :**

« Pour ta BD, tu m'as demandé où le chlordécone avait été utilisé dans le monde. Cela m'a amené à reprendre mes recherches et à compléter les connaissances que j'avais déjà, en découvrant que plusieurs pays européens avaient utilisé le Kélévan, un pesticide qui se transforme en chlordécone dans le sol. Finalement, ce projet ne m'a pas seulement permis de transmettre des connaissances : il m'a aussi conduit à en produire de nouvelles. »

Cette envie d'explorer d'autres formes de transmission, je l'ai retrouvée chez plusieurs chercheurs dont **Charlotte, 41 ans, enseignante-chercheuse en biologie marine à l'Université des Antilles, qui avec une vingtaine d'autres chercheurs a participé au prototypage et aux phases de test du jeu Chlordicus conçu par un lycée au Lamentin en Martinique :**

« Je côtoie des étudiants et je constate qu'il faut varier les façons d'enseigner pour les captiver et les motiver. Le jeu est un axe que je n'avais jamais exploité avec ce public et qui me semble prometteur pour faire passer des messages sur des sujets sociétaux graves et presque "tabous" ».

La production et la circulation de ces œuvres ont également contribué à faire évoluer dans le débat public les mots utilisés pour qualifier la situation : réparation, justice environnementale, préjudice écologique, écocide, continuités coloniales, inégalités environnementales, rapport de pouvoir et de domination, dignité, qualité de vie ou encore droits des générations futures.

Autrement dit, le vocabulaire mobilisé pour penser cette pollution s'est considérablement enrichi et s'est déplacé vers ce qui constitue d'autres enjeux pour les citoyens eux-mêmes.

Ces œuvres produisent indéniablement de la réflexion, souvent de l'indignation, et quelquefois de l'engagement citoyen ou des changements de pratiques. Mais leur apport réside surtout dans leur capacité à réhumaniser l'expérience de la pollution en la donnant à voir et à vivre à l'échelle de l'individu.

C'est à cet endroit précis que se trouve l'un des apports essentiels de la médiation artistique et culturelle : créer des espaces de ré-encodage des récits relatifs à la pollution. Les connaissances scientifiques produites peuvent alors y être questionnées, voire renégociées, non plus de manière surplombante, mais à partir des expériences individuelles. Il ne s'agit pas nécessairement de favoriser leur adhésion, mais plutôt de rendre possible leur discussion et potentielle appropriation.

Yékrik ?
Yékrak !
Yemistikri ?
Yemistikra !
Est-ce que la cour dort ?
Non, la cour ne dort pas !

PARTIE 6 – De l'objet de recherche au territoire vécu

Derrière la colère sociale que j'ai souvent rencontrée au cours de mes recherches se cache aussi autre chose : un profond attachement à des territoires dont les habitants perçoivent parfois avec acuité la transformation irréversible.

Car au-delà des conséquences sanitaires ou environnementales, beaucoup expriment la crainte que les lieux où ils sont nés, où ils ont grandi et où ils espéraient voir vivre leurs enfants ne puissent plus être habités, pratiqués ou transmis tout à fait de la même manière aux générations futures.

Pour comprendre cette émotion, il faut accepter qu'elle procède moins d'un refus du changement que d'une forme d'amour pour un territoire et pour les modes de vie qui lui sont associés.

Lorsque la pollution conduit à modifier ce que l'on pêche, ce que l'on plante, ce que l'on mange ; lorsqu'elle fragilise la transmission de certains savoirs agricoles, transforme le rapport aux rivières, aux jardins créoles ou à la confiance accordée aux aliments produits localement, elle ne touche pas à des choses abstraites. Elle dit surtout : Nou sé ki moun ? Ki moun nou yé ? Qui sommes-nous ?

La chlordécone constitue un bouleversement environnemental cela a largement été rappelé. Mais elle constitue aussi un bouleversement biographique puisque comme indiqué précédemment, il préexiste à nos existences.

Mais à mesure que j'écoutais les interventions de ce colloque, une question n'a cessé de m'accompagner : que devient un territoire lorsqu'il est durablement transformé en objet de recherche scientifique et en données analytiques ?

Avec cette pollution, les Antilles françaises sont devenues un laboratoire à ciel ouvert, un espace de circulation d'une molécule, un territoire de gestion publique, de limitation du risque, de controverses et de recherche de solutions.

Toutes ces approches sont forcément nécessaires. Mais aucune ne doit nous faire oublier que derrière l'objet de recherche demeure un territoire vécu.

C'est là que les sciences humaines et sociales ont un rôle capital – et non pas marginal - à jouer.

En plus des interventions des deux premiers jours, je sincèrement tiens à saluer les interventions des sociologues, des anthropologues, des spécialistes en communication, qui prolongent la dynamique engagée en 2022 par Malcolm Ferdinand, Ingénieur en environnement et philosophe au CNRS.

Mais leurs voix restent encore trop peu représentées dans les instances de compréhension de ce qui se joue dans tous les soubassements de la problématique chlordécone.

Puisque nous sommes confrontés à une situation qui n'a rien d'ordinaire - une pollution appelée à persister plusieurs siècles sur des territoires habités - à situation exceptionnelle, réponses exceptionnelles.

Attention un ultime truisme avant la fin de mon propos : peut-être est-il temps d'inventer des formes nouvelles de dialogue, de participation citoyenne et de gouvernance capables de faire travailler ensemble chercheurs, professionnels des filières agricoles, institutions, médecins de ville et professionnels de santé en général, élus, avocats, organisations de la société civile, habitants et... artistes ?

Après dix-huit ans de Plan Chlordécone, la question que nous impose désormais la situation n'est peut-être plus seulement comment mieux connaître la chlordécone, mais comment apprendre à gouverner collectivement les conséquences d'une pollution dont personne aujourd'hui ne peut raisonnablement penser qu'elle relèvera un jour de notre seul passé.

Yékrik ?

Yékrak !

Yemistikri ?

Yemistikra !

Est-ce que la cour dort ?

Non, la cour ne dort pas !

Merci pour votre attention.

Et je voudrais juste demander aux personnes qui ont lu des extraits de témoignage et ont représenté un instant la diversité des voix de la société de bien vouloir toutes se lever pour quelques applaudissements.

PARTIE 3
COMMUNICATIONS AFFICHÉES

La chlordécone : comprendre sa structure et sa réactivité pour mieux agir

Marie Poujade^{1,2}, Hussein Kanso¹, Léa Simmonet¹, Delphine Muselet¹, Olek Maciejak³, Vanessa Delfosse⁴, Erwann Jeanneau⁵, William Bourguet⁴, Gilles Frison⁶, Nathalie Jarroux⁷, Fabio Ziarelli⁸, Alexandre Martinez², Seifallah Abid¹, Pierre-Loïc Saaidi^{1*}

¹ Génomique Métabolique, Genoscope, Institut François Jacob, CEA, CNRS, Univ Evry, Université Paris-Saclay, 91057 Evry, France

² Aix-Marseille Univ, CNRS, Centrale Med, ISM2, 13013 Marseille, France

³ Université Paris-Saclay, Univ Evry, CY Cergy Paris Université, CNRS, LAMBE Evry-Courcouronnes 91025, France

⁴ Center for Structural Biology, University Montpellier, Inserm, CNRS, Montpellier, France

⁵ Centre de Diffractométrie Henri Longchambon, Université Claude Bernard Lyon 1, 5 Rue de la Doua, 69100 Villeurbanne, France

⁶ Laboratoire de Chimie Théorique, Sorbonne Université, CNRS, F-75005 Paris, France

⁷ Université Paris Saclay, CNRS, Institut Galien Paris-Saclay, 91400, Orsay, France

⁸ Aix-Marseille Univ., Centrale Méditerranée, CNRS, Fédération des Sciences Chimiques FR 1739, 13397 Marseille, France

* plsaaidi@genoscope.cns.fr

◆ Messages-clés :

- Les analyses (DSC, TGA, RMN solide ¹³C, spectroscopie infra-rouge) de lots commerciaux de chlordécone ainsi que les structures cristallographiques de la chlordécone et de la 10-monohydrochlordécone démontrent la seule présence de la forme hydratée.
- La structure cristallographique précédemment décrite du complexe {récepteur œstrogène ERα-chlordécone sous forme cétone} (Delfosse et al. 2014) a été réexaminée ce qui a permis de démontrer que la chlordécone était bien sous forme hydratée également.
- La chlordécone sous forme cétone formée par chauffage sous vide a pu être caractérisée par spectroscopie IR, RMN ¹³C liquide et RMN ¹³C solide et sa réhydratation spontanée à l'air a été suivie par spectroscopie IR démontrant sa très grande instabilité.
- La chlordécone hydrate réagit spontanément avec le méthanol, l'éthanol et l'acétone (formant des composés stables, isolés et caractérisés dont une structure cristallographique de la CLD-acétone) ce qui a des conséquences importantes sur les analyses (baisse ou augmentation du signal de la CLD en GC-MS et GC-FID) et sur le choix du solvant de stockage.

Mots-clés : chlordécone, hydratation, structure cristallographique, RMN ¹³C solide

Contexte et enjeux

La chlordécone (CLD) est généralement représentée comme une cétone perchlorée de formule brute C₁₀Cl₁₀O. Elle est donc considérée comme très hydrophobe, avec un Kow supérieur à 4 et non ionisable. Cependant, quelques articles basés sur l'analyse par RMN ¹³C indiquent que la chlordécone, tout comme ses congénères partiellement déchlorés, les hydrochlordécones, est présente en solution préférentiellement sous forme hydratée, c'est-à-dire avec une fonction gem-diol à la place de la fonction cétone (Wilson et al., 1979 ; Chevallier et al., 2019). Quelques rares publications mentionnent même la formation spontanée d'un hémiacétale méthylique (He et al., 2015) et d'un produit d'aldolisation avec l'acétone (CLD-acétone) (Huckins et al., 1982). Un nombre croissant d'études de modélisation (chimie théorique) ont été publiées au cours des vingt dernières d'années, toutes en utilisant la chlordécone sous forme cétone. Dans les bases de données de cristallographie, on trouve une preuve apparemment indubitable : une structure tridimensionnelle obtenue par diffraction des rayons X du complexe {récepteur œstrogène ERα – chlordécone sous forme cétone} (Delfosse et al., 2014). L'ensemble de ces éléments nous ont amenés à réexaminer la structure réelle de la chlordécone, hydratée ou non, et à étudier sa réactivité vis-à-vis de quelques solvants.

Matériel et méthodes

Trois lots commerciaux de chlordécone à l'état solide (Azurisotope, Dr. Ehrenstorfer, Sigma-aldrich) ont été analysés par spectroscopie infra-rouge (IR). La chlordécone commercialisée par Azurisotope a également été analysée par RMN ¹³C solide. La chlordécone de Dr Ehrenstorfer a été étudiée par DSC et TGA. La chlordécone provenant de Sigma-aldrich ainsi que la 10-monohydrochlordécone A1 (synthétisée

d'après Chevallier et al 2019) ont été solubilisées chacune dans un mélange dichlorométhane/diméthylformamide. Une évaporation lente des solutions a permis d'obtenir des monocristaux des deux composés. Le produit d'aldolisation de la chlordécone avec l'acétone a été obtenu par chauffage à reflux pendant 96h dans le toluène avec un excès d'acétone. Une purification par chromatographie a permis d'isoler le produit CLD-acétone. Une lente évaporation du composé préalablement dissous dans du chloroforme a conduit à l'obtention de monocristaux. L'ensemble des monocristaux ont ensuite été étudiés par diffraction des rayons X ce qui a permis d'établir les structures cristallographiques des formes réelles de la chlordécone, de A1 et de la CLD-acétone. Les données issues de la diffraction des rayons X du complexe ER α – chlordécone précédemment publiées (Delfosse et al., 2014) ont été réaffinées en utilisant la chlordécone hydrate à la place de la forme cétone ce qui a permis d'obtenir un meilleur coefficient R et des interactions par liaisons hydrogène supplémentaires dans le site de reconnaissance. La déshydratation de la chlordécone hydrate a été obtenue en chauffant à 50°C pendant 6h sous un vide poussé (1-3 mbar). La forme cétone ainsi formée a pu être détectée en mélange avec la chlordécone hydrate via trois techniques indépendantes (spectroscopie IR, RMN ^{13}C du solide, RMN ^{13}C liquide après solubilisation dans le toluène- d_8). Les hémiacétals de la chlordécone (CLD-OCH $_3$ et CLD-OC $_2\text{H}_5$) ont été obtenus par simple dissolution de la chlordécone hydrate dans le méthanol et l'éthanol puis repos de plusieurs heures à température ambiante avant évaporation et reprise dans l'acétone- d_6 pour l'analyse par RMN. L'effet du méthanol et d'autres alcools (0,1-2%) sur la réponse en GC-MS et GC-FID a été étudiée. Des expériences de déshydratation ont été également réalisées avec A1 ce qui a permis d'identifier clairement les signaux ^1H attribuables à la forme hydratée et à la forme cétone lors de l'expérience RMN DOSY permettant de séparer les molécules selon leur coefficient de diffusion.

Résultats et discussion

Toutes les expériences réalisées prouvent que la chlordécone et la 10-monohydrochlordécone se présentent spontanément sous forme hydratée. Deux structures cristallographiques appuient cette conclusion. Un protocole sous vide strict a permis de former transitoirement la chlordécone sous forme cétone malgré une réhydratation très rapide à l'air. Même s'il n'a pas été possible de déterminer expérimentalement une constante d'équilibre d'hydratation, les modélisations par DFT fournissent un ordre de grandeur (10^7 - 10^8) concordant avec les observations. La formation spontanée et quantitative d'hémiacétals a été confirmée en conditions douces (simple mise en solution). La réaction avec l'acétone est bien plus lente (plusieurs mois à température ambiante) mais la CLD-acétone se forme aussi dans l'injecteur GC diminuant l'intensité du signal de la chlordécone. De faibles quantités de méthanol et autres alcools ($\geq 0,1\%$) augmentent énormément la réponse en GC-MS et GC-FID (jusqu'à +200%). Nos résultats amènent un nouvel éclairage sur la structure réelle et la réactivité de la chlordécone et invite à réinterpréter un certain nombre de conclusions tirées d'études passées.

Références bibliographiques

- Chevallier, M. L., Della-Negra, O., ... & Saaidi, P. L. (2019). Natural chlordecone degradation revealed by numerous transformation products characterized in key French West Indies environmental compartments. *Environmental science & technology*, 53(11), 6133-6143.
- Delfosse, V., ..., & Bourguet, W. (2014). Structural and functional profiling of environmental ligands for estrogen receptors. *Environmental health perspectives*, 122(12), 1306.
- He, D.,..., & Zhou, Y. (2015). Determination of Kepone and Its Metabolite in Water and Soil by High-Performance Liquid Chromatography–Mass Spectrometry. *Analytical Letters*, 48(1), 1-8.
- Huckins, J. N.,..., & Johnson, B. T. (1982). Fate of Kepone and mirex in the aquatic environment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 30(6), 1020-1027.
- Wilson, N. K., & Zehr, R. D. (1979). Structures of some Kepone photoproducts and related chlorinated pentacyclodecanes by carbon-13 and proton nuclear magnetic resonance. *The Journal of Organic Chemistry*, 44(8), 1278-1282.

Évaluation de la pureté des produits de transformation de la chlordécone par RMN quantitative ^1H : une solution fiable et pratique

Olek Maciejak¹, Yazid Boutahri¹, Léa Simonnet¹, Seifallah Abid¹, Pierre-Loïc Saaidi^{1*}

¹ Université Paris-Saclay, Univ Evry, CY Cergy Paris Université, CNRS, LAMBE Evry-Courcouronnes 91025, France

² Génomique Métabolique, Genoscope, Institut François Jacob, CEA, CNRS, Univ Evry, Université Paris-Saclay, 91057 Evry, France

* plsaaidi@genoscope.cns.fr

◆ Messages-clés :

- Une approche par RMN quantitative ^1H innovante, utilisant le solvant résiduel comme étalon interne, permet une évaluation précise de la pureté de plusieurs produits de transformation (PTs) de la chlordécone sans ajout d'étalon supplémentaire, ce qui permet la récupération et le recyclage du PT par simple évaporation du solvant.
- L'étude comparative GC/LC vs RMN quantitative a révélé une surestimation de la pureté par GC/LC, confirmant l'intérêt d'utiliser la RMN quantitative ^1H en routine pour une détermination fiable des lots de PTs synthétisés.

Mots-clés : produits de transformation de la chlordécone, GC, LC, RMN quantitative ^1H , pureté

Contexte et enjeux

La pureté des composés organiques commercialisés est souvent déterminée par chromatographie en phase gazeuse (GC) ou en phase liquide (LC), exprimée comme « pureté par GC » ou « pureté par LC ». Ces valeurs ne représentent qu'une mesure relative et non une mesure de pureté absolue. Cette approche ne prend pas en compte les composés non détectables par GC comme l'eau, les molécules non volatiles telles que les sels inorganiques et les espèces polymériques. La LC généralement utilisée avec un détecteur UV-visible ne permet pas non plus d'avoir une détection universelle et quantitative. La quantification directe par comparaison avec un étalon authentique est idéale mais n'est pas possible pour bon nombre de molécules issues de procédés et synthèses complexes, faute d'étalons disponibles. Dans le cadre du projet CHLOR2NOU, notre équipe est en charge de la synthèse d'une dizaine de PTs pour les partenaires chargés d'étudier leur toxicité et de mettre au point de nouvelles méthodes d'analyse. Les valeurs de pureté sont donc cruciales pour la bonne réussite du projet. D'après les fabricants les plus rigoureux qui communiquent les résultats des dosages d'eau des lots commercialisés, la CLD contient entre 4 et 5 % d'eau. Cela laisse penser que les hydrochlordécones de structure similaire présentent également à l'état solide une quantité d'eau significative. Pourtant les rares fournisseurs de PTs ne réalisent aucune mesure de l'eau ce qui questionne sur la pureté communiquée aux clients. De manière plus générale, les synthèses des PTs impliquent l'usage de réactifs inorganiques et de solvant pouvant laisser des impuretés invisibles en GC et LC. La spectroscopie de résonance magnétique nucléaire quantitative (RMN quantitative) constitue un outil puissant pour la détermination précise de la pureté des composés organiques (He et al., 2025). Même avec un étalon interne (EI) de structure chimique très différente, la RMN quantitative permet, modulo certaines validations, d'estimer la pureté absolue d'un composé. L'ajout d'un EI à l'échantillon de quelques milligrammes rend malheureusement l'échantillon irrécupérable pour d'autres études ce qui est un facteur rédhibitoire pour les PTs de la chlordécone synthétisés à ce type d'échelle. Nous avons donc adapté une approche de RMN quantitative ne nécessitant pas d'ajout d'EI : la concentration du solvant résiduel non deutéré est utilisée en remplacement.

Matériel et méthodes

Le protocole d'estimation de pureté par RMN quantitative ^1H avec le solvant comme étalon interne a été développé et validé comme suit : 1. les paramètres d'acquisition de la séquence impulsionnelle ont été optimisés sur un spectromètre Bruker Corporation 600 MHz afin d'obtenir une réponse quantitative y compris pour des composés présentant des protons relaxant plus lentement ; 2. Pour chaque lot de solvant deutéré, une quantification du solvant non deutéré présent à l'état de trace a été réalisée (RMN quantitative ^1H classique) (He et al, 2025). Ceci a permis d'obtenir la concentration des solvants non deutérés (par

exemple CHCl_3 dans le CDCl_3 , acétone- d_5 dans acétone- d_6). Plusieurs PTs de la chlordécone ont été synthétisés et purifiés selon des protocoles décrits (Chevallier et al, 2019). Ils ont ensuite été analysés à la fois par GC ou LC et par RMN ^1H pour estimer leur pureté et détecter d'éventuelles impuretés. Le protocole de détermination de pureté par RMN quantitative a été appliqué et les valeurs de pureté ont été comparées.

Résultats et discussion

La RMN quantitative ^1H utilisant comme EI le signal résiduel du solvant non deutéré simplifie la préparation des échantillons et permet une récupération facile de l'échantillon par simple évaporation du solvant de RMN, tout en offrant une mesure rapide et précise de la pureté des PTs sans introduire de EI supplémentaire. Dans un premier temps, nous avons optimisé les paramètres de la séquence impulsométrique pour obtenir des valeurs quantitatives et reproductibles pour le signal résiduel du solvant tout en conservant un temps d'acquisition le plus court possible. Le protocole de RMN quantitative ^1H a ensuite été testé et validé sur un organochloré commercial, le pentachlorobenzène (pureté fabricant >96%, pureté déterminée par RMN quantitative 96,7%). Une comparaison entre la méthode RMN quantitative avec EI ajouté et celle avec le signal résiduel du solvant comme EI a également été réalisée avec succès. La pureté de différents lots de PTs de la CLD a alors été déterminée par cette méthode. Des analyses complémentaires ont été menées (GC, LC, et RMN ^1H non quantitative). Les résultats ont montré que, même pour les échantillons considérés comme les plus purs par les autres techniques, les puretés de RMN quantitative étaient toutes inférieures à 92%. L'examen précis des spectres RMN ^1H a révélé la présence d'impuretés non détectables par chromatographie : principalement des traces de solvants organiques résiduels provenant des étapes de synthèse et de purification, des résidus de graisse et/ou de contaminants provenant de la manipulation de la verrerie ou de solvants commerciaux. La mesure de pureté obtenue par RMN quantitative tient compte également de la présence d'eau dans l'échantillon. Ces résultats soulignent que le protocole de RMN quantitative ^1H avec le solvant résiduel comme EI peut être suffisant pour caractériser la pureté réelle des PTs de la chlordécone puis récupérer les PTs par simple évaporation. Les analyses complémentaires permettent plutôt de confirmer la présence d'impuretés et d'établir leur identité. Le protocole développé est maintenant utilisé en routine au laboratoire pour établir la pureté des divers lots de PTs synthétisés et transmis aux partenaires du projet CHLOR2NOU.

Références bibliographiques

- Chevallier, M. L., Della-Negra, O., ... & Saaidi, P. L. (2019). Natural chlordecone degradation revealed by numerous transformation products characterized in key French West Indies environmental compartments. *Environmental science & technology*, 53(11), 6133-6143.
- He, L., Jiang, B., Peng, Y., Zhang, X., & Liu, M. (2025). NMR based methods for metabolites analysis. *Analytical Chemistry*, 97(10), 5393-5406.

Synthèse, purification et caractérisation de standards analytiques de mono-, dihydro- et trihydro-chlordécones potentiellement formées lors d'opérations de remédiation ou rencontrées dans les matrices environnementales

Anh Tuan Lormier^{1*}, Nicolas Baldovini², Fathi Mabrouki³, Béatrice Baghdikian³, Stéphane Greff³, Hervé Macarie³

¹ Azur Isotopes

² Institut de Chimie de Nice, UMR 7272, Université Côte d'Azur, CNRS, Nice

³ Aix Marseille Univ., Avignon Univ., CNRS, IRD, IMBE, Marseille

* at.lormier@azurisotopes.fr

◆ Messages-clés :

- Trois standards analytiques de mono-, di- et tri-hydrochlordécone ont été purifiés et sont maintenant disponibles commercialement.
- La mono-hydrochlordécone correspond à la 5-monohydro (numération CAS), c'est-à-dire au produit qui se forme majoritairement au cours du procédé ISCR de remédiation des sols, mais aussi par voie microbienne.
- Un mélange purifié de 2 di-hydrochlordécones (50/50 en aire) dont les temps de rétention et spectres de masse sont distincts du standard précédent est aussi disponible.

Mots-clés : monohydro-chlordécone, dihydro-chlordécone, trihydro-chlordécone, standards analytiques

Contexte et enjeux

Depuis la première crise de la chlordécone (CLD) dans la ville de Hopewell aux USA en 1975, on sait que la CLD est susceptible de subir des réactions de transformation sous l'action de la lumière (Wilson & Zehr, 1979) ou dans des conditions fortement réductrices (Schrauzer & Katz, 1978). Ces transformations vont aboutir à la formation de composés ayant conservé la structure en cage de la CLD, mais ayant perdu des chlores, que l'on appelle **hydrochlordécones (hydroCLD)**, ou ayant subi une ouverture de la cage avec formation de **chloroindènes** (composés avec un cycle en C₆ accolé à un cycle en C₅ de formule C₉Cl_{8-n}H_n).

Récemment, il a été montré que ces produits pouvaient aussi se former au cours d'essais de remédiation des sols antillais contaminés que ce soit par voie physicochimique (Mouvet *et al.*, 2020) ou microbienne (Chevallier *et al.*, 2019), et qu'ils sont déjà présents dans les sols et d'autres environnements antillais comme les sédiments de mangroves, suggérant qu'un processus d'atténuation naturelle est déjà en cours dans tous ces compartiments (Chevallier *et al.*, 2019).

Tous les essais de dégradation de la CLD ont été immédiatement confrontés à l'absence commerciale de standards analytiques des éventuels produits de transformation de façon à faciliter leur identification mais surtout permettre leur quantification. Aujourd'hui, bien que 2 équipes de recherche en aient synthétisé un certain nombre pour leurs propres travaux, seul un standard d'une monohydro-CLD, la 5b-hydroCLD, et du chlordécol (un autre produit de transformation de la CLD) sont disponibles dans le commerce. Les autres produits font cruellement défaut aux autres groupes de recherche et limitent également leur suivi par les laboratoires en charge des analyses réglementaires de sols et matrices biologiques.

L'objectif de ce travail réalisé dans le cadre du **projet ANR LICOCO** était donc de trouver une voie de synthèse d'hydroCLDs présentant différents niveaux de déchloration et de les purifier de façon à les rendre disponibles commercialement à la communauté scientifique et aux laboratoires d'analyses de routine.

Matériel et méthodes

La formation des hydroCLDs a été obtenue en faisant réagir de la CLD avec un donneur d'électrons en quantité suffisante pour éliminer les 10 atomes de chlore. Plusieurs conditions expérimentales ont été testées de façon à optimiser leur obtention.

Les différentes hydroCLDs formées dans le milieu réactionnel ont ensuite été séparées par chromatographie gazeuse préparative couplée à un détecteur à ionisation de flamme. La masse des produits purifiés a été confirmée par Chromatographie Liquide couplée à la Spectrométrie de masse Haute Résolution (UHPLC/HRMS).

Pour chacune des hydroCLDs obtenues, des propositions de structure ont été réalisées à partir de leur spectre de masse en ionisation électronique en prenant en compte (1) tous les isomères possibles pour chaque niveau de déchloration et (2) leur mode de clivage initial qui sépare la cage bishomocubane en 2 fragments en C₅, celui portant l'atome d'oxygène et l'autre présentant des massifs isotopiques caractéristiques en fonction du nombre d'atomes de chlore (Dilling & Dilling, 1967).

Résultats et discussion

La déchloration de la CLD dans les conditions expérimentales utilisées a abouti à la formation de plus d'une dizaine de produits. Leur séparation a permis d'isoler trois composés avec une pureté supérieure à 98% (en % de l'aire totale détectée par GC/MS) dont les masses en UHPLC/HRMS étaient de m/z 468.72904 [C₁₀H₂Cl₉O₂]⁻, 434.7682* [C₁₀H₃Cl₈O₂]⁻, et 400.8064* [C₁₀H₄Cl₇O₂]⁻ correspondant respectivement aux formes diols d'une mono- (CLD-1Cl), une di- (CLD-2Cl) et une tri-hydroCLD (CLD-3Cl). Les fragments majoritaires observés dans les spectres de masse obtenus par ionisation électronique pour chacune de ces molécules, à savoir m/z 236* [C₅HCl₅]⁺ pour la CLD-1Cl et la CLD-2Cl, et m/z 202* [C₅H₂Cl₄]⁺ pour la CLD-3Cl, ont permis d'émettre des hypothèses de structures pour chacune d'elles. Dans le cas de la CLD-1Cl, il a été possible de confirmer la structure de la 5-monohydroCLD (nomenclature CAS). Le spectre de masse de chacune des hydroCLD purifiées a été déposé auprès de la bibliothèque de spectres de référence Wiley communément utilisée par les laboratoires d'analyses afin d'en faciliter l'identification. Un mélange purifié de 2 CLD-2Cl (50/50 en aire) dont les temps de rétention (13,063 et 13,112 min) et spectres de masse sont distincts de la CLD-2Cl précédente (13,578 min) a aussi été obtenu. La société Azur Isotopes propose maintenant tous ces produits à la communauté scientifique dans son catalogue.

Remerciements

Cette étude a été réalisée avec le soutien de l'ANR dans le cadre du projet LICOCO (Living with Chlordecone: an Opportunity-based Co-construction, Project-ANR-22-CHLD-0002). Elle a bénéficié de l'appui technique du Service Métabolomique et Chimie des Substances Naturelles du Pôle Chimie de l'Institut de recherche IMBE.

Références bibliographiques

- Chevallier, M. L., *et al.*, (2019). Natural chlordecone degradation revealed by numerous transformation products characterized in key French West Indies environmental compartments. *Environ. Sci. Technol.*, 53(11), 6133-6143.
- Dilling, W. L., & Dilling, M. L. (1967). Pentacyclodecane chemistry—III: Fragmentation patterns of pentacyclodecane derivatives on electron impact. *Tetrahedron*, 23(3), 1225-1233.
- Mouvet, C., *et al.*, (2020). Physico-chemical and agronomic results of soil remediation by In Situ Chemical Reduction applied to a chlordecone-contaminated nitisol at plot scale in a French Caribbean banana plantation. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 27(33), 41063-41092.
- Schrauzer, G. N., & Katz, R. N. (1978). Reductive dechlorination and degradation of mirex and kepone with vitamin B12s. *Bioinorganic Chem.*, 9(2), 123-142.
- Wilson, N. K., & Zehr, R. D. (1979). Structures of some Kepone photoproducts and related chlorinated pentacyclodecanes by carbon-13 and proton nuclear magnetic resonance. *J. Org. Chem.*, 44(8), 1278-1282.

^a m/z de l'ion monoisotopique

Synthèse et caractérisation de polychloroindènes – vers une meilleure production de standards analytiques et expérimentaux pour ces métabolites de la chlordécone

Sonia Mion^{1,2*}, Aiden Zhaoxiang Liu³, Lilian Bousset², Pauline Blanc¹, Yoann Louis¹, Elizabeth Edwards³, Maïwenn Jacolot², Florence Popowycz², Philippe Oger^{2*}

¹ INSA Lyon, CNRS UMR 5240, Université Lyon 1, F-69621 Villeurbanne

² INSA Lyon, CNRS UMR 5246, Université Lyon 1, CPE Lyon, ICBMS, F-69621 Villeurbanne

³ Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada

* sonia.mion@insa-lyon.fr ; philippe.oger@insa-lyon.fr

♦ Messages-clés :

- Synthèse de standards de polychloroindènes
- Application de ces polychloroindènes et de la chlordécone pour des tests de toxicité

Mots-clés : *synthèse multi-étapes, polychloroindènes, métabolites, toxicité, standard*

Contexte et enjeux

Plusieurs traitements reposant sur des procédés biotiques ou abiotiques pour la remédiation de la chlordécone sont en cours d'étude. La plupart de ces procédés sont encore à l'échelle du laboratoire, et dans les cas où une dégradation de la chlordécone a été obtenue, cela a mené à la formation de plusieurs produits de dégradation, de toxicité inconnue, que l'on peut distinguer en 7 familles selon leurs structures (**Figure 1**).

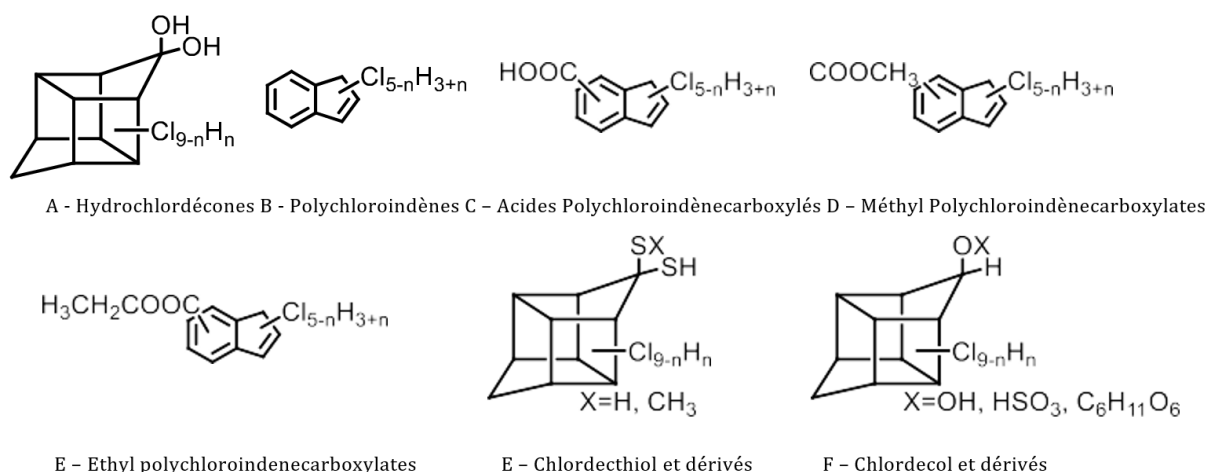


Figure 1 : Présentation des sept familles de produits de transformation de la chlordécone [2]

L'objectif de ces procédés est de transformer la chlordécone afin d'obtenir des produits de dégradation moins toxiques et/ou plus disponibles à la dégradation par d'autres microorganismes. Du fait des faibles taux de conversion, et surtout du manque de molécules standards pour leur suivi analytique, les connaissances sur les produits de biodégradation de la chlordécone sont encore très limitées. A ce jour, une seule étude a été réalisée pour évaluer la toxicité de certains de ces produits de dégradation putatifs : lors de tests de toxicité d'un mélange de mono-, di- et trihydrochlordécone, aucune différence n'a pu être observée avec le témoin de chlordécone pure, indiquant que ces produits ne semblent pas plus toxiques que le produit de départ, mais sans doute pas non plus moins toxiques [1]. Il est indispensable d'accumuler encore plus de connaissances sur le comportement de ces molécules avant de pouvoir développer à grande échelle ces technologies de remédiation.

Un des objectifs du projet MetHalo est de synthétiser ces métabolites de la CLD comme les polychloroindènes (**Figure 1. B**), afin d'en obtenir des standards et pouvoir caractériser leur toxicité et leur sensibilité aux méthodes de dégradation.

Nous avons optimisé la synthèse de molécules polychloroindènes afin de produire des quantités significatives de ces molécules pures, de structure connue, permettant ainsi de débiter l'évaluation du potentiel toxicologique et de la biodégradation de ces métabolites encore non caractérisés, ainsi que de fournir des standards analytiques à nos collaborateurs.

Matériel et méthodes

Synthèse de polychloroindènes. Les polychloroindènes de la famille **B5** (dichloroindène **5,7-B5** et **4,6-B5**) et de la famille **B1** (pentachloroindène **B1**) ont été synthétisés par synthèse chimique multi-étapes (entre 3 et 10 étapes selon la cible visée).

Caractérisation de la solubilité des polychloroindènes. La solubilité des produits a été évaluée dans différents solvants grâce à une quantification par HPLC-UV et comparée à celle de la chlordécone.

Caractérisation de la toxicité des polychloroindènes. L'évaluation de la toxicité des produits, en comparaison à celle de la chlordécone est en cours sur différents modèles bactériens et eucaryotes (gammare).

Résultats et discussion

Synthèse multi-étape. Deux dichloroindènes de la famille **B5** ont été synthétisés avec succès à l'échelle du gramme avec des rendements totaux variant de 30 à 70% selon les molécules et la structure de ces molécules **5,7-B5** et **4,6-B5** a été caractérisée par RMN et spectrométrie de masse (**Figure 2**). La contrainte de la synthèse s'inscrit dans la disponibilité des produits halogénés de départ.

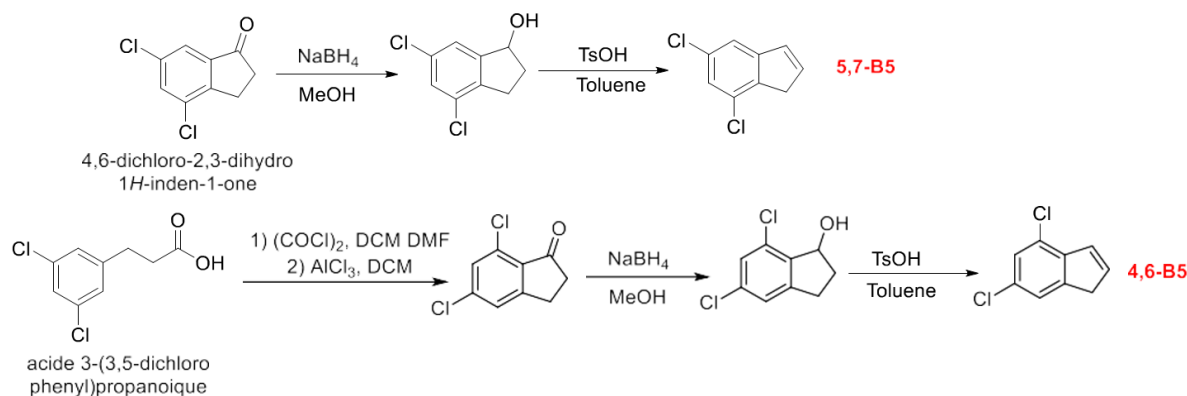


Figure 2 : Synthèses de dichloroindènes B5

La robustesse de cette voie de synthèse a permis ainsi de préparer un certain nombre de produits polyhalogénés, dont le polychloroindène pentachloré **B1**. La synthèse de cette molécule a pu être validée, avec un rendement total de 3% sur 9 étapes. Une optimisation de la dernière étape de chloration est en cours afin d'améliorer ce rendement.

Résultats préliminaires sur l'évaluation de la solubilité et de la toxicité des polychloroindènes par rapport à la chlordécone. Les molécules **5,7-B5** et **4,6-B5** ont une solubilité dans l'eau à peu près égale à celle de la chlordécone (~5 mg/L), alors que la molécule **B1** est très peu soluble et sa solubilité n'a pu être déterminée dans l'eau. Elle est de l'ordre de 25 mg/L dans le DMSO (les molécules **B5** sont solubles à plus d'1g/L dans ce solvant). Après détermination de ces solubilités, la toxicité de ces molécules est en cours de comparaison par antibiogramme et détermination de la CMI sur différentes bactéries, et par mesure de toxicité sur le gammare *Gammarus fossarum*.

Références bibliographiques

- [1] Moreau, X. et al. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29, 91017–91035 (2022)
- [2] Martin, D. E. et al. *Sci. Total Environ.* 903, 166345 (2023)

Détermination des limites de quantifications instrumentales pour le dosage de la chlordécone et de cinq produits de transformation sur différents équipements analytiques

Tiffany Scherrer^{1*}, Delphine Muselet³, Claire Soligot-Hognon¹, Agnès Fournier¹, Cédric Paris², Yves Le Roux^{1,4}, Sandrine Christophe⁵, Reggie Lanoir⁵, Didier Plumain⁵, Pierre-Loïc Saaidi³, Mailie Saint-Hilaire^{5*}

¹ L2A, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-Lès-Nancy, France

² LIBIO, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-Lès-Nancy, France

³ Génomique Métabolique, Genoscope, Institut François Jacob, CEA, CNRS, Univ Evry, Université Paris-Saclay, Evry, France

⁴ Chaire industrielle Agrométhé Université de Lorraine-ENSAIA, 54280 Champenoux, France

⁵ Institut Pasteur de la Guadeloupe, Unité Environnement Santé, Laboratoire C2AS (Chimie Analytique Appliquée à la Santé) 97193 Les Abymes, France

* tiffany.scherrer@univ-lorraine.fr ; msaint-hilaire@pasteur-guadeloupe.fr

◆ Messages-clés :

- La chlordécone (CLD), la 10-monohydrochlordécone (A1), la 8-monohydrochlordécone (A2), le pentachloroindène (B1), les acides polychloroindènedicarboxyliques (C1/C2) et le chlordécol (CLDOH) peuvent être dosés par différents systèmes analytiques.
- Le nombre de produits de transformation (PTs) potentiellement suivis en routine peut être étendu de 2 à 5.
- Les limites de quantification (LOQ) sont obtenues sur différents systèmes analytiques pour la CLD et les cinq PTs en fonction des équipements des laboratoires et des applications.

Mots-clés : chlordécone, produits de transformation, chromatographie liquide, chromatographie gazeuse, méthodes

Contexte et enjeux

La persistance environnementale de la CLD aux Antilles est maintenant bien connue, suite à son utilisation continue de 1972 à 1993 (1). Plusieurs publications ont récemment montré que cette molécule, longtemps considérée comme non dégradable, pouvait naturellement se transformer dans l'environnement en diverses molécules filles polychlorées (2,3). Des études menées en laboratoire (2,3) ont permis d'identifier plusieurs dizaines de ces PTs et de les grouper en sept familles : trois conservant la cage bishomocubane (les hydrochlordécones, le chlordécol (CLDOH) et le chlordecthiol avec leurs dérivés) et quatre présentant un cycle aromatique de type indène (les polychloroindènes, les acides polychloroindènedicarboxyliques ainsi que les esters méthyliques et éthyliques correspondants). La formation de ces PTs dans l'environnement pose la question d'une possible pollution secondaire. Les PTs sont généralement présents à des niveaux de concentration plus faibles dans l'environnement que la CLD. Leur identification et leur quantification fiables sont donc un défi majeur. Ces défis analytiques sont également un verrou important à lever dès lors que l'on cherche à évaluer l'efficacité d'un procédé de dégradation de la CLD, comme cela a été le cas précédemment pour la digestion anaérobie (4). Le suivi actuel proposé par les laboratoires d'analyse en routine ne permet, au mieux, que de suivre la CLD et deux PTs commercialement disponibles, le A2 et le CLDOH. La mise au point de méthodes analytiques pour doser la CLD et une plus large variété de PTs est donc indispensable. Associé à cela, chacune de ces sept familles possède des groupements fonctionnels et des caractéristiques chimiques qui leur sont propres, ajoutant à ces développements analytiques une difficulté supplémentaire.

Matériel et méthodes

La mise au point de méthodes instrumentales en solvant, a été réalisée de façon étroite entre trois partenaires possédant chacun différents instruments analytiques. Au total, trois systèmes de chromatographies liquides (deux LC-MS/MS et une LC-HRMS) et quatre systèmes de chromatographies gazeuses (deux GC-MS/MS, une GC-MS et une GC-FID) ont été utilisés. Une première étape d'optimisation des conditions chromatographiques ainsi que des paramètres instrumentaux (tampon, ions suivis, conditions de détection...) a été effectuée sur l'ensemble des systèmes à disposition, et pour l'ensemble des molécules étudiées. Cette première étape avait pour objectif d'améliorer la sensibilité et la sélectivité

de la méthode analytique et donc permettre d'atteindre les LOQ les plus sensibles des différents équipements. L'optimisation a été réalisée pour les molécules suivantes : CLD, A1 (10-monohydrochlordécone), A2 (8-monohydrochlordécone), B1 (pentachloroindène), C1/C2 (acides polychloroindènedicarboxyliques) et enfin le CLDOH. A1, B1 et C1/C2 ont été synthétisés par le Genoscope pour cette étude selon des protocoles déjà décrits (2). Une méthodologie commune a ensuite été adoptée par l'ensemble des partenaires afin de déterminer les limites de quantification de leurs appareils. Pour cela, une gamme d'étalonnage a été injectée en début de séquence, suivie de dix injections consécutives de la molécule à la LOQ estimée pour le système, puis de la réinjection de la même gamme en fin de séquence. Afin de valider les LOQ, le coefficient de variation devait être inférieur à 20 % et le taux de recouvrement compris entre 80-120% (selon le guide SANTE).

Résultats et discussion

L'optimisation des méthodes instrumentales (LOQ instrumentales) développées par l'ensemble des partenaires a permis d'atteindre des LOQ, de l'ordre du µg/L, sauf dans le cas de la GC-FID réputée moins sensible (de l'ordre du mg/L). Ces niveaux constituent une base satisfaisante pour le développement ultérieur de méthodes analytiques appliquées à différentes matrices environnementales, alimentaires ou biologiques. Cependant, le développement d'une méthode analytique unique sur un seul appareil pour l'ensemble des molécules étudiées s'est révélé impossible à mettre en œuvre en raison des spécificités chimiques propres à chacune. En fonction des familles de PTs, certaines molécules sont quantifiables à des niveaux pertinents uniquement par chromatographie liquide (C1/C2) ou par chromatographie gazeuse (B1). En revanche pour d'autres composés tels que CLD, A1, A2 et le CLDOH, la quantification est relativement comparable et possible sur les deux types de systèmes chromatographiques, constituant un avantage non négligeable pour leur dosage simultané. Globalement, ces résultats démontrent que la CLD et cinq de ses PTs peuvent être dosés de façon fiable par différents systèmes analytiques. A l'exception de l'analyse par GC-FID, les LOQ déterminées permettent d'envisager l'utilisation des méthodes développées dans différentes matrices sous réserve de protocoles d'extraction adaptés en particulier pour les matrices complexes (digestat de méthanisation en particulier). Cela ouvre la voie à un meilleur suivi du devenir de la CLD et des PTs dans l'environnement mais aussi lors d'expériences de remédiation.

Références bibliographiques

1. Le Déaut JY, Procaccia C. Rapport sur les impacts de l'utilisation de la chlordécone et des pesticides aux Antilles: bilan et perspectives d'évolution. Paris: Assemblée nationale Sénat; 2009. (Impressions).
2. Chevallier ML, Della-Negra O, Chaussonnerie S, Barbance A, et al. Natural Chlordecone Degradation Revealed by Numerous Transformation Products Characterized in Key French West Indies Environmental Compartments. *Environ Sci Technol*. 4 juin 2019;53(11):6133-43.
3. Della-Negra O, Chaussonnerie S, Fonknechten N, Barbance A, et al. Transformation of the recalcitrant pesticide chlordecone by *Desulfovibrio* sp.86 with a switch from ring-opening dechlorination to reductive sulfidation activity. *Sci Rep*. 11 août 2020;10(1):13545.
4. Martin DE, Alnajjar P, et al. Efficient biodegradation of the recalcitrant organochlorine pesticide chlordecone under methanogenic conditions. *Sci Total Environ*. déc 2023;903:166345.

Développement d'anticorps monoclonaux anti-chlordécone pour immunoessais compétitifs

Baptiste Vives^{1*}, Hussein Kanso², Pierre-Loïc Saaidi², Hervé Volland^{1*}

¹ Département Médicaments et Technologies Pour la Santé (DMTS), Université Paris Saclay, CEA, SPI, 91191 Gif-sur-Yvette, France

² Génomique Métabolique, Genoscope, Institut François Jacob, CEA, Univ Evry, Université Paris-Saclay, 91057 Evry, France

* baptiste.vives@cea.fr ; herve.volland@cea.fr

♦ Messages-clés :

- Possibilité de développer des anticorps monoclonaux anti-chlordécone
- Affinité des anticorps limitée par la petite taille et la faible solubilité de la chlordécone
- Développement d'un test rapide pour la détection de la Chlordécone

Mots-clés : *chlordécone, anticorps monoclonaux, immunoanalyse compétitive, technique d'immunoabsorption par enzyme liée (enzyme-linked immunosorbent assays, ELISA), test bandelette (Lateral flow immunoassay, LFIA)*

Contexte et enjeux

Malgré son interdiction en 1993, la chlordécone, insecticide organochloré persistant, continue de contaminer durablement les milieux naturels antillais. La contamination touche également plusieurs types d'aliments (légumes, viandes, poissons, crustacés) ce qui conduit à une exposition des populations locales [1]. Les méthodes de référence utilisées pour la détection de la chlordécone reposent sur des techniques chromatographiques couplées à des spectromètres de masse. Ces instruments sont coûteux et difficiles à maintenir en état dans les conditions locales d'insularité de ces territoires outre-marins. Le développement d'immunoessais spécifiques, de type ELISA ou bandelette, représente une alternative prometteuse pour une surveillance décentralisée, plus rapide et moins coûteuse, en particulier pour le suivi de la pollution des eaux et de l'imprégnation de la population [2]. Le développement de ces méthodes alternatives nécessite au préalable la production d'un anticorps monoclonal présentant une forte affinité contre la chlordécone. A ce jour, ce verrou n'a pas encore été levé, il s'agit de l'objectif prioritaire du présent travail effectué dans le cadre du projet CHLOR2NOU.

Matériel et méthodes

Dans ce contexte, des anticorps monoclonaux dirigés contre la chlordécone ont été produits par immunisation *in vivo* avec un immunogène. Au vu de la petite taille de la chlordécone, l'approche retenue pour l'immunogène a été de greffer des motifs chlordécone sur la BSA (bovine serum albumine), protéine connue pour déclencher une réponse forte du système immunitaire. Un travail de synthèse organique a permis de préparer l'immunogène chlordécone-acétate-PEG-BSA : après avoir fonctionnalisé la chlordécone avec un motif acétate, un couplage peptidique a permis le branchement d'un espaceur de type PEG. Le greffage du bras chlordécone-acétate-PEG a été réalisé via un second couplage peptidique impliquant les résidus lysine présents à la surface de la BSA. Une analyse par spectrométrie de masse MALDI-TOF a permis de valider le greffage. D'autres dérivés de la chlordécone, notamment la chlordécone-acétate-hexylamine-biotine, ou la chlordécone-acétate (plus soluble que la chlordécone native) ont également été synthétisés pour le suivi de l'immunisation et la caractérisation des anticorps candidats. Ce dérivé comporte un bras espaceur distinct de celui de l'immunogène, dans le but de favoriser la sélection d'anticorps spécifiquement dirigés contre la structure bis-homocubane perchlorée. Un groupe de quatre souris a été immunisé par injections successives de 50 µg de chlordécone-acétate-PEG-BSA : quatre injections espacées de trois semaines, suivies d'une période de repos de deux mois, puis de trois rappels administrés sur trois jours à deux souris avant le prélèvement et la fusion des splénocytes avec des cellules de myélome murin (lignée NS1). Les hybridomes obtenus ont été sélectionnés, clonés et amplifiés afin de produire les anticorps, lesquels ont ensuite été purifiés par chromatographie d'affinité sur protéine G et caractérisés par électrophorèse. Les tests compétitifs ELISA et LFIA sont réalisés à l'aide des anticorps monoclonaux ainsi obtenus et d'un conjugué chlordécone-acétate-hexaméthyl-biotine. La présence de ce conjugué est révélée par l'utilisation de streptavidine couplée avec une enzyme générant un signal coloré

(ELISA) ou un anticorps anti-biotine couplé avec des nanoparticules d'or dont l'accumulation génère un signal coloré (LFIA).

Résultats et discussion

Après une première fusion réalisée à partir des deux souris présentant la meilleure réponse immunitaire, aucun hybridome producteur d'anticorps spécifiques de la chlordécone n'a été identifié lors du criblage avec la chlordécone-acétate-hexaméthyl-biotine. Une deuxième fusion, réalisée sur la dernière souris, a permis d'identifier 18 hybridomes. Par la suite, six hybridomes viables ont ainsi été sélectionnés, clonés et amplifiés, produisant six anticorps monoclonaux (5 IgG κ et 1 IgG λ). Les premiers tests compétitifs en ELISA montrent que tous les anticorps reconnaissent les dérivés conjugués CLD-acétate et CLD-acétate-PEG-COOtBu avec une inhibition de 50% du signal (IC₅₀) avec des concentrations de 54,1 à 270.7 $\mu\text{g/L}$, tandis que la chlordécone native nécessite des concentrations beaucoup plus élevées (>5,41 mg/L). En LFIA, les six anticorps reconnaissent le conjugué chlordécone-acétate-hexaméthyl-biotine. Les meilleurs candidats présentent une limite de détection de <10 $\mu\text{g/L}$.

Bien que la sensibilité requise pour le développement d'un test ne soit pas atteinte, ces résultats confirment tout de même la faisabilité du développement d'anticorps monoclonaux anti-chlordécone et mettent en évidence les limitations liées à la petite taille et à la faible solubilité de la molécule. Les optimisations à venir viseront à renforcer la sensibilité des tests, notamment par la génération de nouveaux anticorps monoclonaux de lapin, mieux adaptés à la reconnaissance des petites molécules [3], ainsi que par l'amélioration des traitements d'échantillons favorisant la solubilisation de la chlordécone.

Références bibliographiques

- [1] O. Della-Negra et P.-L. Saaidi, La chlordécone, un polluant en transformation, Pour La Science n°509, mars 2020, pp 40-47
- [2] Cevallos-Cedeño RE et al., Rapid Immunochemical Methods for Anatoxin-a Monitoring in Environmental Water Samples. Anal Chem. 2022 Aug 2;94(30):10857-10864. doi: 10.1021/acs.analchem.2c01939.
- [3] S. Rossi *et al.*, « Rabbit Monoclonal Antibodies: A Comparative Study Between a Novel Category of Immunoreagents and the Corresponding Mouse Monoclonal Antibodies », *Am J Clin Pathol*, vol. 124, no 2, p. 295-302, août 2005, doi: 10.1309/NR8HN08GDPVEMU08.

Détection rapide et de terrain de la chlordécone aux Antilles – outil de surveillance intégrée

Ronald Ranguin^{1,2*}, Manon Dupuy¹, Franck Molina¹, Pierre Champigneux^{1,2}

¹ Sys2Diag UMR9005 CNRS ALCEN, Cap Gamma, Parc Euromédecine, 1682 rue de la Valsière, CS 40182, 34184, Montpellier, CEDEX 4, France

² SkillCell, 44 Rue Henri Becquerel Centre d'Affaires Actualis ZI de Jarry, 97122 Baie-Mahault

* rranguin@skillcell-alcen.com

♦ Messages-clés :

- **Mise au point d'un dispositif de terrain & instantané de détection de la chlordécone dans l'eau** (spectromètre portable, lecture smartphone < 1 min, volume d'échantillon faible).
- **Sensibilité et spécificité analytiques** : LOD = 0,1 μM ($\approx 0,05 \mu\text{g.mL}^{-1}$) avec une plage de quantification 0,4–25 μM ($\approx 0,2\text{--}12 \mu\text{g.mL}^{-1}$).
- **Ré-analyse de laboratoire dans la journée** : Filtration de l'échantillon, Concentration par évaporation pour un gain de performance.
- **Possibilité de cartographie dynamique des pollutions** : Avertissement de sécurité et protection des populations exposées.

Mots-clés : *détection portable, nanoparticules fluorescentes, surveillance environnementale, réactivité*

Contexte et enjeux

Aujourd'hui la pollution au Chlordécone dans les Antilles est connue et durablement installée. Le pesticide est présent abondamment dans les sols, circule via les eaux de rivières et les eaux souterraines, entraînant une contamination de l'ensemble des chaînes alimentaires, une perte de biodiversité et une dégradation accrue des sols mais surtout une contamination humaine (1) engendrant des effets sanitaires à long terme (perturbations endocriniennes, promotion tumoral, ...) (2). Cependant il existe encore une méconnaissance de la répartition, de l'évolution temporelle et de la dispersion de cette pollution du fait de l'utilisation de méthodes de mesure coûteuses, lentes et nécessitant pour la plupart des analyses de laboratoires spécialisés présents en métropole. L'exposition chronique des écosystèmes et des populations est donc encore mal documentée ou décrite à posteriori du fait des délais de rendu des résultats d'analyses.

Le défi à relever afin de protéger au mieux les populations et les écosystèmes de cette pollution est donc d'obtenir une détection et une mesure de la chlordécone la plus généralisée possible. Cela passe par une solution peu coûteuse, rapide et fiable, qui puisse être disponible pour le plus grand nombre et capable de détecter le pesticide dans des matrices complexes (eaux, sols, aliments...). La métrologie de terrain doit permettre de passer du laboratoire à des outils utilisables par des non-experts (agriculteurs, techniciens des agences gouvernementales, collectivités, associations, consommateurs...), afin de sensibiliser les populations aux voies d'expositions chroniques et ainsi de permettre d'élaborer avec tous ces acteurs des politiques ciblées de réduction des expositions.

Matériel et méthodes

Dans ce contexte, une preuve de concept d'une technologie de détection de terrain du Chlordécone a été réalisée par notre équipe en partant d'observations simples et objectives concernant les propriétés physico-chimiques (2,3) de la molécule notamment son hydrophobicité ($3.45 < \text{Log Kow} < 5.41$) et son adsorption sur la matière organique ($3.30 < \text{Log Koc} < 4.24$). La technologie repose sur des nanoparticules de $\sim 100 \text{ nm}$ qui ont comme propriété d'extraire et de concentrer le chlordécone. Ces nanoparticules sont fonctionnalisées avec un fluorophore dont le spectre d'émission change en présence de chlordécone. L'analyse se fait sur un volume de 200 μL , avec un spectromètre portable, par lecture du spectre de ces nanoparticules après mise en contact avec un échantillon en phase aqueuse. Le spectre est ensuite traité par un algorithme simple, afin de définir un paramètre X1 définissant la modification du signal du fluorophore. Avant la mesure, des étapes de concentration ont été évaluées (filtration ou évaporation rotative) afin de tenter d'augmenter la sensibilité de la technique. La stabilité physico-chimique des

nanoparticules fluorescentes a été étudiée, afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de modification du signal. Un milieu tamponné a été sélectionné pour permettre de s'affranchir des variations de pH. Des tests sur les produits de transformations présents dans l'écosystème antillais telle que la chlordécone alcool a été investiguée et aucune modification de signal n'a été détectée.

La spécificité de la détection a été évaluée en regard de composés proche de la chlordécone.

Résultats et discussion

Dans un premier temps, les performances analytiques de la méthode ont été définies en laboratoire sur des standards de Chlordécone. Nous avons démontré que la concentration de chlordécone était liée à la modification du signal de fluorescence, au travers du paramètre X1. Les performances en termes de limite de détection ont permis d'atteindre une LOD de 0,1 μM et une quantification entre 0,4 et 25 μM de chlordécone. Nous avons ensuite pu effectuer des mesures dans des échantillons d'eaux de rivière enrichis en chlordécone. La complexité de cette matrice environnementale a peu altéré les capacités de détection des nanoparticules, avec une plage de détection du chlordécone au-dessus de 0,5 μM (0,24 $\mu\text{g.mL}^{-1}$). La mise en place de protocole de filtration / élution des échantillons a permis d'augmenter la sensibilité en termes de LOD avec un temps de traitement réduit de l'échantillon (<10min) malgré un rendement de récupération à améliorer. Dans un second temps, une concentration de laboratoire par évaporation rotative a engendré un gain de signal de 340%. De plus, les études de spécificités effectuées par remplacement de la chlordécone par le Mirex et par le camphre n'ont montré aucune modification du signal lors de l'ajout de ces composés, même à des concentrations de 25 μM , valeur saturante pour nos nanoparticules en chlordécone. L'outil de détection développé est donc à la fois sensible et modulable tout en étant spécifique de la molécule cible.

L'ensemble de ces développements, effectués avec des protocoles légers et sur un appareil de terrain ouvre la voie au déploiement de cette solution dans les Antilles afin de confronter la technologie aux conditions de terrain. Une validation analytique complète, en comparaison avec les protocoles normatifs pour les différentes matrices environnementales et alimentaires d'intérêt constitue aujourd'hui la prochaine étape de nos recherches. Nous espérons ensuite que l'ensemble des acteurs s'emparent de cette solution agile pour en faire un outil clé dans les stratégies de santé publique, de gestion environnementale et de développement des filières agricoles.

Références bibliographiques

- (1) Dereumeaux C, Saoudi A, Pecheux M, et al. (2018) Imprégnation de La Population Antillaise Par La Chlordécone et Certains Composés Organochlorés En 2013/2014. Étude Kannari. Saint-Maurice: Santé publique France.
- (2) Multigner L., Kadhel P., Rouget F., Blanchet P., Cordier S. Chlordecone exposure and adverse effects in French West Indies populations. Environ Sci Pollut Res. 2016;23(1):3–8.
- (3) Durimel A, Altenor S, Miranda-Quintana R, et al. (2013) pH dependence of chlordecone adsorption on activated carbons and role of adsorbent physico-chemical properties. Chemical Engineering Journal 229: 239–249.
- (4) Fernandez-Bayo, J. D., Saison, C., Geniez, C., Voltz, M., Vereecken, H., & Berns, A. E. (2013). Sorption characteristics of chlordecone and cadusafos in tropical agricultural soils. Current Organic Chemistry, 17(24), 2976-2984.

Évolution du discours scientifique sur la chlordécone : De la crise d'Hopewell à la problématique antillaise

Laetitia De Jong¹, Manon Arnaud^{1§}, Jade Chibout^{1§}, Mattéo Jimenez^{1§}, Damien Michalon^{1§}, Calli Paul¹, Marie-Dominique Salducci¹, Hervé Macarie¹, Xavier Moreau^{1*}.

¹ Aix Marseille Univ, Avignon Univ, CNRS, IRD, IMBE. Faculté de Pharmacie, Marseille. France

* xavier.moreau@imbe.fr

§ auteurs ayant contribué de manière équivalente au travail

♦ Messages-clés :

- Une transition historique et géographique majeure
- Prédominance de la santé humaine et émergence environnementale
- Mutation des paradigmes : de la toxicité aiguë à la perturbation endocrinienne
- Un levier pour les politiques publiques (Projet ANR LICOCO)

Mots-clés : analyse bibliométrique, chlordécone, perturbateur endocrinien, santé environnementale, santé humaine

Contexte et enjeux

La chlordécone (CLD), insecticide organochloré synthétisé la 1^{ère} fois dans les années 1940, a marqué l'histoire environnementale et sanitaire mondiale par sa persistance et sa toxicité. Initialement utilisée aux Antilles pour lutter contre le charançon du bananier, elle est aujourd'hui reconnue comme un perturbateur endocrinien majeur associé à des risques accrus de cancers (prostate notamment) [1][2]. A l'heure actuelle, les articles de revue autour de la problématique de la CLD s'attachent à illustrer les liens entre le pesticide et les effets sur la santé humaine [3] ou sur des aspects environnementaux [4]. A notre connaissance, il n'existe pas d'analyse globale des discours scientifiques, et il manque des synthèses sur l'évolution des priorités de recherche (santé vs environnement). Enfin, il n'existe pas de cadre méthodologique pour une analyse bibliométrique systématique. Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet ANR LICOCO (**L**iving with **C**hlordecone : an **O**pportunity-based **CO**-construction, Vivre avec le chlordécone : une co-construction basée sur les opportunités, 2024-2027), visant à analyser l'évolution du discours scientifique concernant l'impact de la CLD depuis les années 1970 et propose une méthodologie de conception d'une base de données adaptée à une analyse scientifique rigoureuse.

Cette étude vise donc à : (1) cartographier l'évolution du discours scientifique sur la CLD de 1968 à 2024, en identifiant les transitions géographiques (États-Unis → Antilles) et thématiques (santé → environnement) ; (2) évaluer l'apport de cette analyse pour la conception de politiques publiques, dans le cadre du projet ANR LICOCO (co-construction de solutions avec les parties prenantes locales) et (3) proposer une méthodologie reproductible pour l'analyse bibliométrique de polluants émergents, combinant outils quantitatifs (tableaux croisés dynamiques) et qualitatifs.

Matériel et méthodes

L'étude repose sur une analyse bibliométrique approfondie sur la période 1968-2024 :

- Source de données : Utilisation de la base multidisciplinaire *Web of Science* (Clarivate) via les accès institutionnels d'Aix-Marseille Université.
- Extraction : Recherche par le mot-clé unique « chlordécone » dans les titres de publications.
 - Traitement : Organisation et uniformisation des données sous Microsoft Excel, analyse par tableaux croisés dynamiques pour identifier les tendances temporelles, thématiques et géographiques : *Nettoyage et uniformisation* (correction des doublons, normalisation des termes), *Analyse temporelle et géographique* (répartition des publications par décennie et par pays), *Analyse thématique* (classification manuelle des articles en 3 catégories, santé humaine, environnement, socio-économie).
 - Analyse SWOT : évaluation des forces (exhaustivité de la base), faiblesses (biais lié au mot-clé unique), opportunités (croisement avec d'autres bases), et menaces (sous-représentation des travaux non indexés).

Résultats et discussion

L'analyse de plus de 800 articles et communications scientifiques met en lumière deux phases distinctes dans l'évolution de la recherche mondiale :

- **1977-1999 : La période américaine.** Le discours est alors dominé par les États-Unis suite à l'exposition professionnelle et la contamination environnementale chronique liées à des défaillances systémiques dans la gestion du site industriel de production de CLD à Hopewell (1975) et l'interdiction définitive de la production, commercialisation et utilisation du Kepone® en 1977 dans ce pays. Les recherches se focalisent prioritairement sur les risques sanitaires immédiats.
- **2004-Présent : La période française et antillaise.** Après l'interdiction de la CLD aux Antilles en 1993 et aux plans d'action nationaux dès 2008, la recherche française devient prépondérante.

Répartition thématique des publications identifiées de 1977 à 2024

- **Santé humaine (84%) :** Prédominance des études sur les effets cancérigènes et les perturbations endocriniennes [ex 1, 3]. Études épidémiologiques sur l'exposition prénatale [ex 2].
- **Environnement (15%) :** Analyse de la contamination durable et rémanente des sols et des ressources en eau aux Antilles françaises (biote, ressources alimentaires, remédiation des sols incluses) [4]. Bioaccumulation [5]. Modélisation de la dispersion [5] ...

Le travail a permis de démontrer la pertinence d'outils visuels clairs et d'une bibliographie riche. L'étude bibliographique montre l'évolution des modèles de persistance environnementale permettant d'analyser la cinétique des transferts de la CLD entre les différentes matrices (sol, eaux, matrices biologiques). L'analyse du discours permet de suivre l'élargissement du champ de recherche et montre la transition de la toxicologie vers l'épidémiologie illustré par les parutions relatant d'abord l'impact aigu, puis chronique. Notre travail montre que l'émergence du concept de perturbateur endocrinien dans les années 1990-2000 a transformé le discours scientifique autour de la CLD. Il montre également comment a évolué l'indépendance de l'expertise (discours industriel vs académique). Toutefois, des limites subsistent, notamment la restriction de la recherche au seul terme « chlordécone » dans la rubrique titre et non sujet ainsi que la nécessité d'élargir la base à d'autres plateformes. Cependant, la création de cette base de données constitue un outil indispensable pour mettre en évidence les pistes de recherche suivies et à suivre, par exemple vers la remédiation des milieux contaminés et la restauration de la confiance entre autorités et populations locales. L'étude chronologique a permis d'identifier le décalage entre les parutions concernant l'étude de la toxicité et la prise de décisions politiques. Elle a permis de cartographier des acteurs de la recherche ayant pour thématique la CLD (Identification des laboratoires leaders et des lacunes comme le manque de collaborations internationales).

Conclusion

Cette étude bibliographique confirme une transition majeure du discours scientifique, passant d'une gestion de crise industrielle nord-américaine à une problématique de santé publique et environnementale persistante en France d'outre-mer. L'analyse de ce discours est un moyen de déconstruire le mécanisme qui a mené à une pollution systémique, afin d'éviter que des schémas similaires ne se reproduisent avec d'autres molécules. La centralisation de ces données pourrait se faire via le projet LICOCO où une mise à disposition de la communauté scientifique offrirait une base solide de travail pour les futures publications et communications mais aussi pour favoriser une approche transdisciplinaire car les politiques futures doivent combiner remédiation des écosystèmes, suivi épidémiologique, et implication citoyenne.

Remerciements

Cette étude a été réalisée avec le soutien de l'ANR dans le cadre du projet LICOCO (Living with Chlordécone: an Opportunity-based Co-construction, Project-ANR-22-CHLD-0002).

Références bibliographiques

- [1] Multigner et al. (2018). Chlordécone : un perturbateur endocrinien emblématique affectant les Antilles françaises. *Bull Epidémiol Hebd.* 22-23:480-485.
- [2] Guldner et al. (2010). Pesticide exposure of pregnant women in Guadeloupe: Ability of a food frequency questionnaire to estimate blood concentration of chlordecone. *Environ Res.* 110(2):146-151.
- [3] Maudouit M, Rochoy M (2019) Revue systématique de l'impact du chlordécone sur la santé humaine aux Antilles françaises. *Thérapies* 74:611-625.
- [4] Sanchez et al. (2025) Impact of chlordecone pollution on biodiversity: The blind spot of 15 years of public policy in the French West Indies. *Peer Community Journal.* 5:e114.
- [5] Dromard et al. (2022). Environmental fate of chlordecone in coastal habitats: recent studies conducted in Guadeloupe and Martinique (Lesser Antilles). *Environ Sci Pollut Res.* 29:51-60.

Les processus de dispersion de la chlordécone de la parcelle à la rivière : synthèse d'observations multi-échelle et long terme

Anatja Samouelian^{1*}, Lise Ponchant², Antoine Richard², Tim Hogge², Thierry BAZAJET², Olivier Huttel¹, Jean-Baptiste NANETTE², Nazaire ROBIN², Patrick ANDRIEUX², Olivier Grunberger¹, Aymeric BEUGNON², Lai Ting Pak³, Marc Voltz¹

¹ UMR LISAH, Univ. Montpellier, AgroParisTech, INRAE, Institut Agro, IRD, 34060 Montpellier, France

² INRAE UR Agrosystèmes Tropicaux, F-97170 Petit Bourg, Guadeloupe, France

³ CIRAD, UPR HortSys, F-97285 Le Lamentin, Martinique, France

* anatja.samouelian@inrae.fr

◆ Messages-clés :

L'observation multi-échelle des flux d'eau et d'érosion au sein de l'observatoire OPALE a permis d'élucider les dynamiques de contamination des eaux de surface par la chlordécone.

- A l'échelle parcellaire, le ruissellement génère des flux de CLD significatifs sous forme dissoute et particulaire, mais d'un ordre de grandeur inférieur à ceux liés à la percolation dans les différents sols étudiés (Andosol, Nitisol, Ferralsol).
- En rivière, les flux de CLD sont essentiellement sous forme dissoute et proviennent majoritairement de l'exfiltration des nappes contaminées par les eaux de percolation des sols. Ponctuellement, lors des crues extrêmes, les contributions s'inversent.
- Dans le bassin versant, l'exportation annuelle de CLD par la rivière est estimée correspondre à moins de 1% du stock en CLD présent dans l'horizon 0-30 cm des sols (Crabit et al., 2016).
- L'exposition des organismes biologiques est maximale en basses eaux en lien avec la phase dissoute et en très hautes eaux en lien également avec la phase particulaire.

Mots-clés : voies de dispersion, percolation, ruissellement, rivière, exposition

Contexte et enjeux

Les suivis dans les eaux, qu'ils soient réglementaires ou issus de programme de recherche, montrent une contamination chronique des masses d'eau de surface par la chlordécone (CLD) dans les bassins versants antillais dont les sols ont été contaminés (Rochette et al., 2020). Pour identifier d'éventuels modes de mitigation et évaluer les impacts potentiels sur les écosystèmes aquatiques, il est indispensable d'analyser les dynamiques et voies de dispersion de la CLD depuis les parcelles contaminées jusqu'aux rivières. Plusieurs études ciblant différentes échelles (parcelle, rivière) ou modes de transport (particulaire, dissous) existent (Ponchant et al., 2020a et b ; Voltz et al., 2023 ; Hogge et al., 2025), mais aucune synthèse n'a encore établi un modèle conceptuel systémique de la dispersion de la CLD depuis les parcelles vers les eaux de surface. Dans ce contexte, nous proposons une synthèse des observations effectuées à différentes échelles spatiales et temporelles, issues d'OPALE (Observatoire des Pollutions Agricoles aux antilles) Guadeloupe et des projets associés, afin de quantifier et hiérarchiser les différentes voies et modes de dispersion de la CLD selon la variabilité météorologique et pédologique, et de discuter les options de mitigation et la variabilité des risques éco-toxicologiques encourus.

Matériel et méthodes

OPALE Guadeloupe assure, depuis 2016, un suivi hydrologique à long terme des rivières Pères et Pérou, incluant des prélèvements cumulatifs pour le suivi de la concentration hebdomadaire moyenne en pesticides, dont la CLD. Entre 2016 et 2017, 223 prélèvements ponctuels ont complété les observations afin d'étudier les transferts de CLD dissoute et particulaire lors des phases de crue et hors-crue. Parallèlement, dans le cadre des projets TPDP, Rivage et SEA9 (2016-2025), des dispositifs parcellaires de mesure de flux ont été installés sur les principaux types de sols contaminés en CLD (Andosol, Nitisol et Ferralsol ; teneur moyenne en surface 35 à 2100 µg/kg). Les parcelles ont été équipées pour quantifier les flux de ruissellement et, pour certaines, les flux de percolation, afin de collecter des échantillons destinés à mesurer les concentrations en matières en suspension ainsi qu'en CLD dissoute et particulaire. Les

analyses de CLD ont été réalisées au laboratoire Terrana (ex. LDA 26). La séparation entre fractions dissoute et particulaire est faite par filtration sur filtre de verre à 0.7µm.

Résultats et discussion

A l'échelle parcellaire, les sols présentent une forte capacité d'infiltration, avec des flux de ruissellement limités (en moyenne inférieurs à 9% de la pluviométrie). La prédominance de l'infiltration sur le ruissellement accroît le risque de lessivage de la CLD du sol vers les eaux souterraines aux dépens du flux généré par le ruissellement et ce pour l'ensemble des situations pédologiques. En effet, les bilans de matières montrent que les flux de percolation transportent environ 10 fois plus de CLD que les flux de ruissellement. Le transfert particulaire reste minoritaire, bien que variable selon l'intensité des événements pluvieux et des états de surface des sols.

A l'échelle de la rivière, les chroniques hebdomadaires de CLD présentent des fluctuations rapides, révélant une dynamique complexe pour laquelle plusieurs processus de transfert sont identifiés. D'une part, l'exfiltration des eaux souterraines fortement contaminées par les flux de percolation des sols apparaît comme le vecteur majeur de la contamination chronique des rivières. Les prélèvements ponctuels, dissociant fractions dissoute et particulaire, confirment des concentrations élevées en CLD dissoute lors des faibles débits. D'autre part, les transferts par ruissellement de surface, sous formes dissoute et particulaire, génèrent soit des pics de concentration lors d'événements de crues intenses, soit, inversement, une dilution de la contamination issue des eaux souterraines lors des crues de faible intensité. Malgré la forte affinité de la CLD pour les phases solides, le transfert particulaire ne représente en rivière qu'une faible contribution, moins de 5 % du transfert total annuel. Il peut toutefois représenter ponctuellement un transfert significatif lors d'événements de crues très intenses, comme celui causé par l'épisode cyclonique Maria (septembre 2017).

En conclusion, les observations menées sur OPALE montrent qu'à l'échelle interannuelle, un transport dominant de la CLD vers les eaux de surface et la mer s'effectue principalement sous forme dissoute, via les flux de percolation des sols vers les eaux souterraines, puis par l'exfiltration de ces dernières dans les rivières. Les pics de concentration en CLD dans les eaux se produisent soit en période de faible débit, lorsque les rivières sont exclusivement alimentées par les eaux souterraines contaminées, soit ponctuellement lors d'épisodes de crues très intenses, apportant un surcroît de contamination par des eaux chargées en matières en suspension. Dans le premier cas, le plus chronique, l'option de mitigation est de chercher à limiter le départ de la CLD des sols vers les eaux souterraines et/ou à en favoriser sa dégradation, sachant toutefois qu'une part, sans doute importante, mais encore non quantifiée, de la CLD épanchée a déjà quitté les sols pour contaminer les masses d'eaux souterraines. Dans le second cas, très transitoire, une limitation de la contamination des eaux peut passer par la mise en place de dispositifs de rétention-filtration des flux de ruissellement et d'érosion (zones tampons végétalisées). Enfin, sur le plan éco-toxicologique, les observations acquises fournissent des références précieuses sur les niveaux de pression toxique selon les voies d'adsorption de la CLD qu'elle soit sous forme dissoute ou particulaire.

Références bibliographiques

Crabit A. et al., 2016, Soil and river contamination patterns of chlordecone in a tropical volcanic catchment in the French West Indies (Guadeloupe), *Env. Pol.* 212, 615-626, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.055>.

Hogge T. et al., 2025 Estimation du potentiel de transfert d'eau, de sédiment et de chlordécone de parcelle à parcelle sur deux secteurs d'étude. Rapport Livrable projet SEA9

Ponchant, L. et al., 2020a. Transfert des Pesticides par voies Dissoutes et Particulaires aux Antilles – TPDP : Bilan et analyse des risques de transferts de pesticides selon une gamme de situations agropédoclimatiques en contexte tropical antillais, Guadeloupe. INRAE.

Ponchant L., et al., 2020b. Transfert des Pesticides par voies Dissoutes et Particulaires aux Antilles – TPDP : Evaluation de la Contamination par la Chlordécone en Rivière : Rôle des Voies de Transfert Dissout et Particulaire. 55 pages plus annexes

Rochette R. et al. 2020 *Env. Sci. & Pol. Res.* 27, no 33 : 41132-42. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10718-y>

Voltz, M. et al, 2023. Flow patterns and pathways of legacy and contemporary pesticides in surface waters in tropical volcanic catchments. *STOTEN* 893, 164815. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164815>

Développement d'un test *in vitro* de bioaccessibilité pour prédire la biodisponibilité relative de la chlordécone contaminant les sols antillais

Noémie Mailfert^{1,2*}, Aurélie Pelfrene³, Maxime Louzon¹, Rabia Badreddine⁴, Claire Soligot-Hognon², Pamela Hartmeyer², Marion Huguet-Cizo², Stefan Jurjanz², Claire Collas^{2*}

¹ Pôle Ecotoxicologie, ENVISOL, 38000 Grenoble, France

² L2A, Université de Lorraine, INRAE, F-54000 Nancy, France

³ LGCgE, Université de Lille, IMT Nord Europe, Université d'Artois, Junia, 59000 Lille, France

⁴ Unité Impact Sanitaire et Exposition, Ineris, 60550 Verneuil-en-Halatte, France

* n.mailfert@envisol.fr ; claire.collas@univ-lorraine.fr

◆ Messages-clés :

Un test *in vitro* de bioaccessibilité est en cours de développement pour prédire la biodisponibilité de la chlordécone des sols. Ce test permettra de prédire le transfert de CLD vers les produits animaux sans avoir recours à l'expérimentation animale. Il constituera un outil pour une meilleure évaluation des expositions, et *in fine* des risques sanitaires et environnementaux.

Mots-clés : bioaccessibilité, biodisponibilité relative, chlordécone, sols, évaluation des risques

Contexte et enjeux

Depuis plusieurs décennies, la présence dans les écosystèmes de Polluants Organiques Persistants (POPs), tels que la chlordécone (CLD), suscite de vives préoccupations en matière de santé environnementale et humaine. L'Homme peut être exposé à la CLD notamment par consommation de denrées alimentaires produites sur site contaminé ou par ingestion accidentelle de sol (ex. : contact main-bouche particulièrement observé chez les enfants). En ce qui concerne les animaux élevés en plein air, l'ingestion involontaire de sol contaminé représente une voie majeure d'exposition à la CLD avec un risque de contamination des denrées alimentaires d'origine animale (Collas et al., 2023). Appréhender le risque au regard de la concentration totale de CLD dans le sol peut conduire à le surestimer. En effet, seule la fraction bioaccessible libérée dans le tube digestif peut potentiellement être absorbée, devenir biodisponible, être bioaccumulée et exercer un effet toxique. La prédiction de la fraction biodisponible par l'estimation de la bioaccessibilité orale est donc pertinente pour une évaluation plus précise des risques et à grande échelle (Louzon et al., 2021). La bioaccessibilité peut être estimée à l'aide de méthodes *in vitro* simulant les processus chimiques et physiques de la digestion humaine ou animale (Lu et al., 2021). Cependant, à l'heure actuelle, il n'existe pas de test *in vitro* standardisé pour la CLD (et plus généralement pour les POPs), contrairement à certains polluants métalliques pour lesquels le test UBM (**Unified Bioaccessibility Method** ; ISO 17924:2019) est recommandé dans la méthodologie nationale de gestion des Sites et Sols Pollués (SSP). L'objectif de cette étude est donc, à partir d'un même lot de sols, de développer une méthode *in vitro* de bioaccessibilité orale apte à prédire la biodisponibilité relative (RBA : Relative Bioavailability) de la CLD contaminant les sols antillais. Quatre tests *in vitro* différents seront adaptés pour la CLD (Xi-PBET : **XAD-2-improved-Physiology-Based-Extraction-Test** ; UBM ; ISO 8259:2024 (anciennement DIN : **Deutsche Industrie Norm**) ; FORES(h)T : **Fed Organic Estimation Human Simulation Test**), et comparés avec des mesures de RBA obtenues *in vivo* sur un modèle porcelet, choisi à la fois comme modèle de l'animal d'élevage et comme modèle de l'enfant. Mesurer la RBA consiste à comparer la fraction de CLD assimilée suite à une ingestion de sol contaminé, à la fraction assimilée suite à l'ingestion d'une forme de référence contaminée (ici, huile végétale). La linéarité de la relation dose-réponse a déjà été démontrée pour la CLD chez le porcelet jusqu'à une dose d'exposition de 7 µg CLD/kg Poids Vif (PV) par jour (Bouwer et al., 2013), permettant d'appliquer les calculs de RBA tant que cette valeur n'est pas dépassée.

Matériel et méthodes

Six sols antillais séchés et tamisés à 2 mm ont été sélectionnés pour couvrir une large gamme de concentrations de CLD (1,3 à 16,1 mg/kg de sol sec), une large gamme de bioaccessibilités mesurées à l'aide du test *in vitro* Xi-PBET en cours de développement, ainsi qu'une large gamme de caractéristiques physico-chimiques. Ces six sols incluent 2 andosols et 4 nitisols, dont 2 nitisols amendés avec du charbon

actif ou du biochar de sargasses à hauteur de 2% (Delannoy et al., 2018). Au total, 36 porcelets mâles castrés et récemment sevrés ont été recrutés : chacun des six sols a été administré à 4 porcelets, 6 porcelets ont reçu de l'huile de maïs non contaminée et 6 porcelets ont reçu de l'huile de maïs contaminée en CLD à une dose d'exposition de 5 µg/kg PV/j. Les différents traitements ont été incorporés dans de petites boulettes d'aliment pour porcelet 1^{er} âge. Après une période d'acclimatation de 7 jours, les boulettes ont été distribuées individuellement aux porcelets tous les matins pendant 10 jours. Des pesées des animaux trois fois par semaine ont permis d'ajuster les volumes d'huile et les masses de sol incorporées dans les boulettes en fonction du PV. A l'issue de la période de contamination, les porcelets ont été mis à mort conformément à la réglementation en vigueur. Le foie et le tissu adipeux ont été prélevés dans le but de déterminer les concentrations de CLD et calculer la RBA pour chaque sol contaminé.

La bioaccessibilité de la CLD contaminant les six mêmes sols sera déterminée à l'aide des quatre tests *in vitro* candidats : Xi-PBET ; UBM ; ISO 8259:2024 et FORES(h)T. Ces différents tests seront développés en intégrant différents leviers reconnus dans la littérature pour améliorer la bioaccessibilité des POPs (Lu et al., 2021) : (1) la simulation d'un bol alimentaire ; (2) la reconstitution de l'aspect dynamique de l'absorption intestinale (ex. : ajout d'une résine adsorbante qui capture la CLD en solution) ; (3) l'ajout de composés biliaires, afin de permettre la formation de micelles et par conséquent le transport de la CLD en solution.

Résultats et discussion

Les valeurs de bioaccessibilité mesurée avec le test *in vitro* Xi-PBET s'élèvent à 10±2 et 13±4% pour les nitisols amendés en biochar de sargasse et charbon actif, 5±1 et 51±4% pour les deux nitisols non amendés, 28±1 et 30±2% pour les deux andosols non amendés. Les mesures de bioaccessibilité avec les 3 autres tests *in vitro* sont en cours de réalisation. L'expérimentation *in vivo* est terminée et les échantillons de tissus animaux sont en cours d'analyse pour déterminer leurs concentrations en CLD et calculer la RBA. Lorsque ces résultats seront disponibles, des régressions linéaires univariées entre la bioaccessibilité obtenue avec chacun des quatre tests *in vitro* et la RBA de la CLD seront réalisées pour évaluer les relations *in vitro-in vivo* (Lu et al., 2021). Le test *in vitro* retenu sera celui permettant de décrire le mieux les données de RBA ; c'est-à-dire celui pour lequel la relation *in vitro-in vivo* sera la meilleure (R^2 et pentes proches de 1, ordonnée à l'origine proche de 0).

Le test *in vitro* développé permettra d'affiner l'évaluation de l'exposition de l'Homme et des animaux d'élevage susceptibles d'ingérer involontairement des particules de sol contaminé. Une réflexion sera menée afin d'intégrer cet essai dans les méthodologies utilisées par les acteurs des SSP pour l'évaluation des risques sanitaires. L'application du test pourra également être élargie à d'autres animaux d'élevage (autres monogastriques, adaptation aux polygastriques), à d'autres contextes d'évaluation des risques tels que le transfert à des espèces bioindicatrices, ou encore à d'autres polluants organiques. À terme, l'utilisation d'un même test *in vitro* standardisé pourrait contribuer à mieux prédire différents risques tout en limitant le coût des investigations, dans une démarche de santé globale des Hommes et des écosystèmes (concept One Health).

Références bibliographiques

- Bouveret, C. et al. 2013. J. Agric. Food Chem. 61, 9269–9274.
- Collas, C. et al. 2023. Environ. Pollut. 316, 120486.
- Delannoy, M. et al. 2018. Chemosphere 210, 486–494.
- Louzon, M. et al. 2021. J. Haz. Mat. 409, 0304-3894.
- Lu, M. et al. 2021. Sci. Total Environ. 752, 142001.

Chlordécone, ignames *Dioscorea bulbifera* : reconstruire une filière vivrière caribéenne par la génomique, la génétique et l'intelligence artificielle

Anne-Sophie Allaguy^{1,2*}, Komivi Dossa², David Couvin¹, Erick Sttatner¹

¹ LAMIA (Laboratoire de Mathématique Informatique et Applications), Université des Antilles

² CIRAD, UMR AGAP Institut, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe, France

* allaguyannesophie@gmail.com

◆ Messages-clés :

- *Dioscorea bulbifera*, seule igname produisant des tubercules aériens (bulbilles), échappe à la contamination des sols par la chlordécone et constitue une culture vivrière de substitution prometteuse aux Antilles.
- Premier génome de référence de l'espèce assemblé à l'échelle chromosomique (20 chromosomes par haploïde, N50 > 30 Mb, complétude BUSCO > 96 %).
- Forte variabilité phénotypique entre accessions (rendements de 1,97 à 7,19 t/ha), confirmant un réel potentiel d'amélioration variétale.
- Ces premières ressources génomiques constituent une étape clé vers la sélection variétale de l'espèce et le développement d'une igname de substitution adaptée aux sols contaminés.

Mots-clés : *Dioscorea bulbifera*, chlordécone, génome de référence, amélioration variétale, sécurité alimentaire

Contexte et enjeux

Les ignames sont des tubercules d'importances alimentaire, économique et culturelle dans les territoires d'outre-Mer et plus largement dans la Caraïbe et en Afrique [1]. De nos jours, la production d'ignames de qualité est un enjeu particulièrement important. En effet, la population se tourne davantage vers les produits frais locaux. La culture des ignames aux Antilles s'est considérablement réduite principalement en raison de la pollution des sols à la chlordécone qui a soulevé des inquiétudes quant à la sécurité de la consommation des tubercules d'ignames.

En effet, selon la Chambre de l'Agriculture de Martinique, la surface de production agricole de tubercule (patate douce, igname toutes variétés incluses) représente en 2022 460 hectares, alors qu'elle était de 661 hectares en 2010. La pollution des sols par certains pesticides a grandement affecté la production de tubercules en Martinique : de nombreux agriculteurs ont abandonné la culture d'igname à cause de la forte concentration du chlordécone.

Dans ce contexte, *Dioscorea bulbifera* (appelée « koko milé » en Martinique, « adon » en Guadeloupe, « masoko » en Haïti) présente un atout unique: elle produit des tubercules aériens (bulbilles) qui se développent sans contact avec le sol et échappent ainsi à la contamination. L'espèce offre par ailleurs un intérêt nutritionnel (amidon, vitamine C, antioxydants) et médicinal (diosgénine aux propriétés anti-inflammatoires et anticancéreuses) [2,3]. Le principal verrou pour valoriser cette espèce est l'absence de ressources génomiques de référence, qui freine tout programme de sélection variétale. L'objectif ici est de produire le premier génome de référence de *Dioscorea bulbifera* afin de débloquent la sélection variétale et relancer une filière d'igname locale, durable et adaptée aux contraintes sanitaires liées à la pollution des sols.

Matériel et méthodes

Quatre accessions de *Dioscorea bulbifera* issues de la collection CIRAD (CIRAD 211, 223, 224 et 226) ont été caractérisées et nous remercions le CRB-PT pour la fourniture des variétés étudiées dans cette étude.. Le phénotypage a porté sur le rendement (t/ha), le poids individuel moyen des bulbilles (g) ainsi que sur leur morphologie (forme arrondie ou difforme) et la couleur de la chair, à partir d'essais conduits en Guadeloupe (données préliminaires).

L'ADN d'une accession CIRAD 226 a été séquencé en lectures longues PacBio HiFi. L'assemblage, phasé en deux haplotypes (HAP1 et HAP2), a été réalisé avec hifiasm. La mise à l'échelle au niveau chromosomique repose sur des données de multi-contacts chromatiniens Pore-C, avec le pipeline wf-Pore-C. Ces contacts fournissent des informations sur la proximité physique entre fragments d'ADN ; la fréquence de contact entre contigs permet de les ordonner et orienter en scaffolds. Le scaffolding a été effectué avec YaHS, produisant des pseudo-molécules chromosomiques.

La qualité de l'assemblage a été évaluée par les métriques de contiguïté (N50) et par l'analyse de complétude BUSCO (gènes complets, uniques, dupliqués, fragmentés et manquants). L'annotation structurale du génome a été réalisée avec Helixer [4], un outil d'annotation fondé sur l'apprentissage profond IA (*deep learning*), puis évaluée à son tour par BUSCO. Ces ressources serviront de base à un programme de sélection associant croisements contrôlés et sélection assistée par marqueurs.

Résultats et discussion

On observe une forte variabilité entre les quatre accessions, avec des rendements de 1,97 à 7,19 t/ha et un poids moyen des bulbilles de 27,6 à 62,1 g, accompagnés d'une diversité morphologique marquée (bulbilles arrondies ou difformes, couleurs de chair variées). Cette variabilité témoigne d'un réel potentiel de sélection au sein de l'espèce.

Le premier génome de référence de *Dioscorea bulbifera* a été assemblé en 20 chromosomes par haploïde, avec un N50 supérieur à 30 Mb. La complétude BUSCO atteint plus de 96 % pour l'assemblage (HAP1: 96,7 %; HAP2: 96,3 %) et environ 93 % pour l'annotation, des valeurs situées dans la gamme «bonne qualité» des seuils de référence. Cet assemblage haplotype-résolu constitue une ressource génomique inédite pour l'espèce.

Ces ressources lèvent le principal verrou identifié. Le génome de référence permettra d'identifier les gènes contrôlant les traits agronomiques d'intérêt — productivité (objectif > 10 t/ha), morphologie et couleur des bulbilles, amertume, résistance aux maladies — et de développer les marqueurs moléculaires associés. Couplés à des croisements contrôlés, ces marqueurs rendront possible la sélection assistée par marqueurs et le repérage rapide des individus les plus prometteurs.

Références bibliographiques

- [1] Kundu B.B., Vanni K., Farheen A., Jha P., Pandey D.K., Kumar V. *Dioscorea bulbifera* (Dioscoreaceae): a review of its ethnobotany, pharmacology, and conservation needs. *South African Journal of Botany*, 140: 365–374, 2021.
- [2] Yu Z.L., Liu X.R., McCulloch M., Gao J. Anticancer effects of various fractions extracted from *Dioscorea bulbifera* on mice bearing Hepa. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 29(6) : 563–567, 2004.
- [3] Zhao Y. Study on the antitumor activity of the effective part of *D. bulbifera*. *Journal of Qiqihar Medical College*, 30: 2108–2109, 2009.
- [4] Holst, F., Bolger, A.M., Kindel, F. *et al.* Helixer: ab initio prediction of primary eukaryotic gene models combining deep learning and a hidden Markov model. *Nat Methods* 23, 732–739 (2026).

Transfert transgénérationnel - Impact des modalités d'allaitement sur la contamination et excrétion de la chlordécone chez l'agneau

Karine Huchet¹, Jean-Daniel Masson¹, Claire Soligot¹, Pamela Hartmeyer¹, Guido Rychen¹, Agnès Fournier^{1*}

¹ L2A, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-Lès-Nancy, France

* agnes.fournier@univ-lorraine.fr

◆ Messages-clés :

- La contamination des agneaux pendant l'allaitement conduit à des concentrations tissulaires en chlordécone proportionnelles à l'exposition.
- Supprimer l'exposition des brebis à la chlordécone durant la lactation réduit par trois la contamination des agneaux allaités.
- Nourrir les agneaux avec du lait artificiel, exempt de chlordécone, réduit douze fois la concentration de ce polluant dans les organes comparativement aux agneaux allaités avec du lait de brebis contaminée.

Mots-clés : ruminants, agneaux, naissance, allaitement, sevrage

Contexte et enjeux

En élevage, les ruminants sont exposés à un risque de contamination à la chlordécone (CLD) par ingestion involontaire de sol pollué, susceptible d'entraîner une exposition indirecte de leur descendance. Cette exposition précoce peut mener à une persistance du polluant dans les tissus du jeune. Les données liées à l'exposition *in utero* de ruminants à la CLD sont limitées mais quelques études existent pour d'autres polluants organiques persistants (POPs ; ex : PCBs et PCDD/Fs). Ainsi, l'exposition à ces molécules lors de la gestation représente entre 0,9% (Driesen, et al. 2022) et 20% (Hirako 2008) de l'exposition maternelle. De plus, une étude démontre que 10% de la dose de CLD reçue par des bovins exposés par voie orale est susceptible de contaminer le jeune durant la lactation (Smith et Arant 1967). Cependant, chez les ruminants âgés de moins de 3 mois, la capacité métabolique limitée favorise le stockage des polluants dans l'organisme conduisant à une charge corporelle élevée comprise entre 77 et 88% de la dose ingérée. A cet âge, l'excrétion fécale représente alors seulement 10% de la dose ingérée et augmente progressivement pour atteindre 50% à l'âge adulte. La lactation représente donc la voie majoritaire d'exposition chez le jeune (Hirako 2008).

L'objectif de cette étude est de quantifier le transfert de CLD du lait vers l'agneau pendant la lactation selon différentes modalités d'allaitement (lait issu de brebis contaminées, lait issu de brebis en décontamination ou lait non contaminé) et de caractériser l'impact de ce transfert sur la charge corporelle de l'agneau.

Matériel et méthodes

Huit brebis gestantes ont été exposées oralement à 0,01mg CLD.kg⁻¹ PV.j⁻¹ via un aliment concentré contaminé, durant les deux derniers mois de gestation. A l'agnelage, les brebis ont donné naissance à un nombre variable d'agneaux (1 à 3, N=12 au total) qui ont été répartis en 3 lots homogènes. Lors de la période de lactation d'une durée de 62 jours, les agneaux ont été allaités selon trois modalités ; par du lait issu des brebis maintenues exposées à la CLD (n=4 ; G1) ; par du lait issu des brebis en décontamination, nourries via un aliment non contaminé (n=4 ; G2) ; ou par du lait non contaminé (n=4 ; G3). Notons qu'une brebis a donné naissance à un agneau momifié, tandis qu'une autre a mis bas deux agneaux momifiés et un agneau mort-né. Ces fœtus ont été utilisés pour estimer la charge corporelle en CLD à la naissance (G0).

Jusqu'au sevrage, des prélèvements réguliers de sérum et de fèces ont été effectués chez les agneaux afin de doser la CLD et son métabolite, le CLDOH. Au sevrage (62 jours après la mise-bas), les agneaux ont été abattus afin de quantifier la CLD dans différents organes (foie, tissu adipeux et muscle long dorsal). Les carcasses des agneaux abattus ont ensuite été broyées et analysées afin de déterminer la charge corporelle en CLD.

L'extraction et la quantification de la CLD et du CLDOH dans les matrices ont été réalisées par la méthode QuECHERS couplée à une analyse chromatographique par LC-MS/MS ou GC-MS/MS sur la plate-forme PASM (Université de Lorraine) pour le sérum, à l'institut Pasteur (Guadeloupe) pour les fèces et à Laboceca (Quimper) pour les tissus, les carcasses et le lait.

Résultats et discussion

La croissance des agneaux n'a pas été affectée par l'exposition à la CLD. La cinétique sérique de la CLD met en évidence des différences marquées entre les groupes. La demi-vie est de 40 jours chez les agneaux G2, soit deux fois plus longue que celle des agneaux G3 (21 jours). La concentration sérique maximale est atteinte entre 10 et 15 jours après la naissance chez les agneaux G1 et G2, suivi d'une décroissance dans le sérum.

Tableau 2 : Exposition et concentration corporelle de CLD chez les agneaux de la naissance au sevrage (moyenne $\pm$ SE)

	Concentration à la naissance* ($\mu\text{g/kg}$ de poids vif)	Exposition via le lait ($\mu\text{g/kg}$ de lait)	Concentration au sevrage ($\mu\text{g/kg}$ de poids vif)
G1	298 $\pm$ 47	3722 $\pm$ 499	153 $\pm$ 27
G2		1563 $\pm$ 247	52 $\pm$ 9
G3		/	14 $\pm$ 2

* Estimation des agneaux nés vivants à partir des agneaux mort-nés et momifiés à la naissance

Au sevrage, la concentration corporelle diminue de 49% chez les agneaux G1, de 83% chez les agneaux G2 et de 95% chez les agneaux G3, comparativement à la naissance (tableau 1). Cette différence reflète le niveau d'exposition par le lait qui est moins contaminé pour les agneaux G2 ou non contaminé pour les agneaux G3. Les concentrations tissulaires (foie, muscle long dorsal, tissu adipeux périrénal) suivent la même tendance : les agneaux G2 ont des concentrations trois fois inférieures tandis que chez les agneaux G3, elles sont douze fois inférieures comparativement aux agneaux G1. La comparaison des concentrations corporelles G1, G2 et G3 au sevrage démontre un transfert de CLD de la mère en décontamination au jeune à travers le lait. Les concentrations de CLD excrétées vers les fèces apparaissent également proportionnelles par rapport à l'exposition des groupes (G2 = 60% de G1 et G3 = 26% de G1).

Les auteurs remercient l'équipe du L2A pour leurs contributions à l'expérimentation. Ce travail est financé dans le cadre du projet INSSICCA (Contrats du ministère de l'Agriculture (DGAL/DGER)).

Références bibliographiques

- DRIESEN, C., et al. Transgenerational mass balance and tissue distribution of PCBs and PCDD/Fs from grass silage and soil into cow-calf continuum. *Chemosphere*. 2022. Vol. 307, p. 135745. DOI:10.1016/j.chemosphere.2022.135745.
- HIRAKO, M. Transfer and Accumulation of Persistent Organochlorine Compounds from Bovine Dams to Newborn and Suckling Calves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56, n° 15, p. 6768-6774. DOI:10.1021/jf8010118.
- SMITH, J.C. & ARANT. Residues of Kepone In Milk from Cows Receiving Treated Feedl. 1967.

Spécificités toxicocinétiques de la CLD chez l'ovin en croissance

Cyril Coppens^{1*}, Joachim Thiebaut¹, Claire Soligot¹, Yves Le Roux¹, Cyril Feidt¹, Guido Rychen¹, Agnès Fournier¹

¹ L2A, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-Lès-Nancy, France

* cyril.coppens@univ-lorraine.fr

◆ Messages-clés :

- La demi-vie sérique de la chlordécone est plus courte chez l'ovin en croissance que chez l'ovin adulte dans les conditions expérimentales.
- Les analyses toxicocinétiques révèlent des différences de clairance et de volumes de distribution, traduisant une persistance différente de la chlordécone entre populations étudiées.
- L'effet de dilution lié à la croissance ne semble pas constituer le principal facteur explicatif des différences observées.
- L'utilisation directe d'un modèle PBTK ovin adulte n'est pas adaptée à l'ovin en croissance ; ce modèle constitue néanmoins une base scientifique pour son adaptation future.

Mots-clés : chlordécone, ovin en croissance, toxicocinétique, cycle entéro-hépatique, modélisation PBTK

Contexte et enjeux

La contamination durable des sols par la chlordécone aux Antilles constitue un enjeu environnemental, sanitaire et socio-économique majeur. Dans ce contexte, les produits animaux occupent une place centrale dans les voies d'exposition humaine via la contamination des denrées alimentaires d'origine animale. La compréhension du devenir toxicocinétique de la chlordécone chez ces animaux est donc essentielle pour appuyer les stratégies de gestion du risque et accompagner les acteurs de terrain dans une approche intégrée. Chez l'ovin adulte, une étude d'exposition orale chronique a permis de développer un modèle physiologique de type PBTK décrivant de manière mécanistique l'absorption, la distribution et l'élimination de la chlordécone [1]. Ce modèle a servi de base à la transposition vers le bovin et au développement d'un outil d'aide à la décision (OAD) permettant d'estimer, à partir d'une concentration sérique initiale mesurée en conditions de terrain, le délai nécessaire pour repasser sous un seuil sérique donné. Cet outil a été progressivement déployé aux Antilles, avec des retours positifs de la part des éleveurs et des partenaires institutionnels. Cependant, des interrogations légitimes ont émergé de la part des acteurs de terrain concernant la transposabilité de ces outils aux animaux en croissance. Le présent travail vise ainsi à caractériser et quantifier les différences toxicocinétiques entre ces deux stades physiologiques, et à discuter les implications de ces résultats pour l'adaptation future des modèles et outils existants afin de mieux répondre aux réalités de l'élevage.

Matériel et méthodes

L'expérimentation a été conduite chez cinq agneaux en croissance exposés à la chlordécone par voie intraveineuse, afin d'évaluer l'impact de la croissance sur la cinétique de décontamination. Les animaux appartenaient à la race Texel, reconnue pour son fort potentiel de croissance. Le protocole visait initialement un gain moyen quotidien d'environ 300 g·j⁻¹ sur une période de suivi de 100 jours, afin d'explorer l'effet de dilution lié à l'augmentation du poids corporel et son influence sur la persistance de la chlordécone. La dose administrée (0,135 mg·kg⁻¹) se situe dans un domaine de cinétique linéaire déjà documenté chez l'ovin adulte [2] (0,04 à 1 mg·kg⁻¹), garantissant la comparabilité des paramètres toxicocinétiques estimés entre les deux stades, tout en conservant une pertinence vis-à-vis des niveaux d'exposition plausibles en conditions *in situ*. Les données obtenues sont directement comparables à celles issues de l'expérimentation menée par Saint-Hilaire et al. [3] chez la brebis adulte à l'entretien, également réalisée par voie intraveineuse. Des prélèvements sériques et fécaux ont été réalisés sur l'ensemble de la période. Les données sériques ont été analysées par approches non compartimentales et compartimentales afin d'estimer la demi-vie, la clairance et les volumes de distribution. La contribution de la dilution liée à la croissance a été évaluée par calcul d'une demi-vie théorique de dilution⁴ et complétée par des simulations prospectives utilisant le modèle PBTK ovin adulte avec ou sans dynamique de

croissance. Les données fécales ont permis d'estimer la clairance fécale de la chlordécone et d'établir des bilans de masse complets.

Résultats et discussion

Les profils sériques dose-normalisés sont clairement distincts entre les deux stades. La comparaison des paramètres toxicocinétiques met en évidence chez l'agneau une demi-vie terminale plus courte (11,4 vs 25,5 j), une clairance sérique plus élevée et des volumes de distribution plus faibles. L'effet de dilution lié à la croissance ne semble pas être le principal facteur explicatif de ces différences. Bien que le gain moyen quotidien mesuré ($117 \text{ g}\cdot\text{j}^{-1}$) soit resté inférieur à l'objectif initial, la demi-vie théorique de dilution calculée (247 j), comme celle estimée pour le GMQ visé de $300 \text{ g}\cdot\text{j}^{-1}$ ($\sim 96 \text{ j}$), restent largement supérieures à la demi-vie d'élimination observée chez la brebis adulte (25,5 j), conformément aux calculs inter-espèces montrant que chez les ruminants, l'élimination supplante la croissance [4]. Les simulations prospectives confirment un impact limité de la dynamique de croissance sur la cinétique sérique simulée. L'analyse fécale révèle par ailleurs une fraction excrétée de CLD parent plus élevée chez l'agneau (72 %) que chez la brebis (48 %), avec un bilan de masse global quasi complet. La voie fécale étant majoritaire et principalement alimentée par l'excrétion biliaire, ces différences pointent vers un fonctionnement différent du cycle entéro-hépatique entre les deux stades. La chlordécone subit en effet une circulation entéro-hépatique chez l'homme comme chez les ruminants, et la modulation pharmacologique de ce cycle réduit significativement sa persistance sérique chez l'homme contaminé [5]. Cette différence de cycle entéro-hépatique pourrait être liée aux conditions expérimentales (alimentation, fréquence d'ingestion) ou à des facteurs propres au stade physiologique (microbiote intestinal, physiologie digestive, expression des transporteurs). La suite de ce travail visera, par modélisation PBTK, à identifier les paramètres mécanistiques du modèle dont la modification permet de reproduire les données *in vivo* observées chez l'agneau, afin d'orienter d'éventuelles investigations expérimentales ciblées (*in vitro* et/ou *in vivo*) sur l'origine biologique de ces différences.

Références bibliographiques

- [1] Fourcot, A. Distribution et élimination de la chlordécone chez les animaux d'élevage – modélisation des processus. (Université de Lorraine, 2020).
- [2] Saint-Hilaire, M. *et al.* Linear toxicokinetic of chlordecone in ewe's serum. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27, 40963–40970 (2020).
- [3] Saint-Hilaire, M. *et al.* Characterization and quantification of chlordecone elimination in ewes. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 87, 103698 (2021).
- [4] Thiébaud, J. Modélisation du devenir des Polluants Organiques Persistants chez l'animal d'élevage. (Université de Lorraine, 2024).
- [5] Jandacek, R. J. & Tso, P. Enterohepatic circulation of organochlorine compounds: a site for nutritional intervention. *J. Nutr. Biochem.* 18, 163–167 (2007).

Ovins en pâturage sous bananeraies : ingestion de sol et exposition à la chlordécone

Claire Collas^{1*}, Julien Perreau², Stefan Jurjanz¹, Pamela Hartmeyer¹, Xavier Godard³, Nathan Rangassamy³, Jean-Christophe Bambou², Agnès Fournier¹

¹ L2A, Université de Lorraine, INRAE, F-54000 Nancy, France

² UR ASSET, INRAE, 97170 Petit-Bourg, France

³ UE PTEA, INRAE, 97170 Petit-Bourg, France

* claire.collas@univ-lorraine.fr

◆ Messages-clés :

- Les ovins en pâturage sous bananeraies peuvent ingérer du sol.
- En pâturant sous des bananeraies contaminées, les ovins se contaminent en chlordécone.
- Une période d'élevage des ovins en bâtiment à l'issue du pâturage sous bananeraies permet de décontaminer les animaux.

Mots-clés : agneaux, bananeraies, ingestion de sol, contamination, chlordécone

Contexte et enjeux

L'utilisation historique de la chlordécone (CLD) aux Antilles françaises pour lutter contre le charançon du bananier a conduit à la contamination des sols des bananeraies. Le maintien d'un couvert végétal permanent sous bananeraie aide à lutter contre le charançon mais nécessite cependant un entretien régulier. Le couvert étant constitué de graminées et de légumineuses d'intérêt fourrager, le pâturage par des ovins est une solution étudiée afin de contrôler l'enherbement tout en valorisant la ressource herbagère dans l'alimentation des animaux. Cependant, le pâturage sur ces surfaces peut conduire à la contamination des animaux ; les ovins pourraient ainsi rendre un service d'entretien mais les produits animaux issus de cette activité d'élevage pourraient être impropres à la consommation humaine. Un outil d'aide à la décision a récemment été mis à disposition des éleveurs pour prédire la durée de décontamination des bovins exposés à la CLD. Cet outil n'a cependant pas encore été testé et validé pour les ovins.

Le sol est un important réservoir de polluants, notamment de CLD en raison de sa forte affinité avec la matière organique du sol. Plusieurs études ont montré que l'ingestion de sol était une voie majeure d'exposition des herbivores lorsqu'ils pâturent en zone contaminée (Rychen et al., 2013). Chez les ovins, l'ingestion de sol n'a encore jamais été étudiée en région tropicale humide où la végétation et les conditions météorologiques spécifiques peuvent l'influencer.

La présente étude vise ainsi à quantifier l'ingestion de sol quotidienne réalisée par des ovins pâturent sous bananeraie contaminée et à évaluer leur exposition à la CLD. Les différents objectifs sont : (i) d'apporter des données de référence sur les quantités de sol ingérées par les ovins lors d'un pâturage d'entretien, (ii) de suivre le niveau de contamination des animaux (concentrations fécales et sériques en CLD) résultant de cette pratique de pâturage afin d'évaluer le lien entre le niveau de contamination des animaux et leur ingestion de sol, (iii) d'évaluer dans quelle mesure il est possible de décontaminer les animaux en supprimant la source d'exposition (élevage « hors-sol » en bâtiment).

Matériel et méthodes

Deux expérimentations ont été menées chez des producteurs de bananes guadeloupéens volontaires pour mettre en place un pâturage ovin pour entretenir le couvert.

Une première expérimentation a été menée sur 4 fermes pendant 6 mois de décembre 2021 à juin 2022. Pour chaque ferme, le dispositif consistait en un système de pâturage tournant avec 5 ovins mâles pâturent une surface totale de 0,5 ha, divisée en 4 parcs d'environ 0,12 ha avec changement de parc tous les 7 jours environ.

Une seconde expérimentation a été menée chez un des producteurs de bananes de la première expérimentation pendant 9 mois, avec une période de pâturage sous bananeraie de 6 mois de février à juillet 2023, puis une période de décontamination en stabulation de 3 mois d'août à octobre 2023. La première période visait à reproduire la phase de croissance sur sol contaminé avec 20 agnelles de 6 mois en pâturage tournant sur une surface totale de 1,6 ha, divisée en 4 parcs de 0,4 ha avec changement de parc tous les 7 jours environ. La deuxième période visait à évaluer la stratégie de décontamination en stabulation.

Pour les deux expérimentations, le rythme de rotation a été ajusté selon le niveau d'enherbement et un complément protéique a été distribué aux animaux (jusqu'à 150 g/animal/jour) en fonction de la ressource fourragère disponible. L'ingestion journalière de sol a été estimée en proportion de la matière sèche ingérée (MSI) totale (Jurjanz et al., 2017) en utilisant la digestibilité de la MSI (Fanchone et al., 2009) et les concentrations en dioxyde de titane (marqueur interne du sol) dosées dans des échantillons de sol, herbe et fèces. Les fèces ont été prélevées tous les deux mois lors du pâturage et tous les mois lors de la décontamination. Des prélèvements de sérum ont été effectués aux mêmes dates et les concentrations fécales et sériques en CLD ont permis de suivre le niveau de contamination des animaux.

Résultats et discussion

Lors de la première expérimentation, les ingestions de sol par les ovins représentaient en moyenne $0,6 \pm 0,1$ % MSI (moyenne $\pm$ SE). L'interaction ferme $\times$ date était significative ($P < 0,001$) avec des valeurs moyennes allant de 0 à 1,7 % MSI. Des pistes d'explication pourraient être des différences de conditions de pâturage entre les 4 fermes, des différences de conditions météorologiques entre les dates, et des variations individuelles liées au comportement alimentaire de chaque animal. Les résultats ont mis en avant une forte corrélation entre les concentrations fécales et les concentrations sériques de CLD ($r = 0,94$; $P < 0,001$), mais n'ont pas permis de mettre en évidence de corrélation significative entre l'ingestion de sol et les concentrations (fécales ou sériques) en CLD, ce qui pourrait s'expliquer par le nombre limité de données disponibles pour tester cette corrélation. Les concentrations fécales allaient de 4,1 à 61,2 $\mu\text{g/kg MS}$ et les concentrations sériques de 0,2 à 16,3 $\mu\text{g/L}$.

La deuxième expérimentation met en avant des ingestions de sol nulles pour tous les individus alors que pour ces mêmes dates les concentrations en CLD reflètent une contamination des animaux (fécale : $22,8 \pm 1,5$ $\mu\text{g/kg MS}$; sérique : $6,0 \pm 0,3$ $\mu\text{g/L}$; moyenne $\pm$ SE) avec de la variabilité entre les individus (fécale : 10,9 à 59,2 $\mu\text{g/kg MS}$; sérique : 2,3 à 10,0 $\mu\text{g/L}$). L'ingestion de sol a été mesurée à des dates ponctuelles et ne reflète pas forcément toute la période d'exposition ; cependant, ces résultats soulèvent la question des autres sources d'exposition des herbivores à la CLD, telle que la ressource fourragère. Les deux expérimentations ont ainsi mis en avant une contamination en CLD des animaux suite à un pâturage sur sol contaminé.

Lors de la période en stabulation, les concentrations fécales en CLD ont fortement baissé et tous les ovins ont atteint des niveaux inférieurs à la limite de quantification (i.e. $< 8,33$ $\mu\text{g/kg MS}$) après 1 mois. Bien que la durée de décontamination soit dépendante de la dose d'exposition, ces résultats confirment qu'il est possible de décontaminer les ovins (demi-vie de la CLD estimée à 24 jours chez la brebis adulte à l'entretien ; Saint-Hilaire et al., 2020). Le pâturage ovien est donc une piste intéressante pour entretenir et valoriser le couvert sous bananeraie.

Les résultats de ces expérimentations pourront enrichir les travaux de modélisation de l'exposition des animaux à la CLD visant à développer des stratégies de décontamination. Par la suite, ces travaux visent à proposer des recommandations de pratiques à destination des agriculteurs afin de limiter l'exposition des animaux et les valoriser sans risque.

Références bibliographiques

Fanchone, A. et al., 2009. Renc Rech Ruminants 16, p. 49.
Jurjanz, S. et al., 2017. animal 11, 1363–1371.
Rychen, G. et al., 2013. Environ Sci Pollut Res 21, 6440–6447.

Saint-Hilaire, M. et al., 2020. Environ Sci Pollut Res Int 27, 40963–40970.

Validation d'une méthode de dosage de la chlordécone et de 14 autres polluants organiques persistants dans le sérum humain applicables aux études épidémiologiques

Maïlie Saint-Hilaire^{1*}, Reggie Lanoir¹, Sandrine Christophe¹, Loana Shitalou¹, Andric Gelasse¹, Luc Multigner², Léah Michineau², Ronan Garlantézec²

¹ Institut Pasteur de Guadeloupe, Laboratoire C2AS (Chimie Analytique Appliquée à la Santé), F-97139 Les Abymes

² Inserm 1085 IRSET (Institut de recherche en santé, environnement et travail), 9 avenue du Professeur Léon Bernard 35000 Rennes

* msaint-hilaire@pasteur-guadeloupe.fr

◆ Messages-clés :

- Une méthode a été validée dans le sérum humain pour l'extraction simultanée de la chlordécone et de 14 autres polluants organiques persistants
- Une limite de quantification de 0.06 µg/L a été établie pour toutes les molécules sauf pour le PCB 153 et le pp'DDE où elle a été de 0.12 µg/L.
- Des incertitudes de mesure entre 20% et 41% ont été mesurées

Mots-clés : sérum, chlordécone, POPs, validation, Guadeloupe

Contexte et enjeux

Les Antilles Françaises, Guadeloupe et Martinique, subissent une pollution permanente de l'environnement par la chlordécone (CLD), un insecticide organochloré employé de 1973 à 1993 pour lutter contre le charançon du bananier. Confirmant des travaux antérieurs conduits par l'Inserm, l'étude Kannari (Dereumeaux et al., 2020), mise en œuvre sur la période 2013-2014 par l'Anses et Santé publique France, a montré la présence détectable de la CLD dans le sang chez 94.9 % chez 292 hommes et femmes représentatifs de la population générale adulte de la Guadeloupe. Les dosages de l'étude Kannari ont été réalisés en France Hexagonale. Saint-Hilaire et al., ont développé et validé en 2023, une méthode de type QuEChERS-LC-MS/MS pour le dosage de la CLD dans le sérum humain Cette méthode est utilisée en routine depuis 2021 en Guadeloupe pour le dosage de la chlordécone dans le sang de la population. L'objectif de ce travail a été de valider une méthode d'extraction simultanée de la CLD et de 14 autres polluants organiques persistants (POPs) dans le sérum humain suivie d'analyses par GC et LC-MS/MS et applicable à des études épidémiologiques.

Matériel et méthodes

Pour réaliser ce travail, nous nous sommes appuyés sur la méthode d'extraction QuEChERS développée par Saint-Hilaire et al. (2023) pour développer une méthode d'extraction simultanée de la CLD et de 14 autres POPs (α -HCH, β -HCH, γ -HCH, pp' DDE, pp' DDT, HCB, Mirex, PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180). Les étalons internes ajoutés sont le ¹³C₁₀-CLD, le PCB 54, le PCB 181, le ¹³C-pp'DDE et le ¹³C-pp' DDT. 2 mL de sérum sont nécessaires pour cette extraction. Par la suite, après ajout de 5 mL d'acétonitrile, le mélange est agité à l'aide d'un multivortex pendant 1 min puis mis à centrifuger 5 minutes à 4000 rpm. Après élimination du culot, 3 mL d'eau milliQ et les sels (kits originaux pour QuEChERS) sont ajoutés au surnageant. L'ensemble est ensuite agité 1 min à l'aide du multivortex puis mis à centrifuger 5 min à 4000 rpm. Une fraction de l'échantillon est mis en vial pour l'analyse de la CLD sur la LC-MS/MS (Altis Plus, Thermofisher). Le reste de l'échantillon est purifié sur l'EMR Lipid, évaporé à l'azote puis injecté par GC-MS/MS pour le dosage des 14 autres POPs. Un plan d'expérience à l'aide de 3 opérateurs différents, 4 niveaux de validation (0.06 ; 0.12 ; 0.40 et 1.00 µg/L de sérum) et 2 répétitions par niveaux a été mis en place. Cette validation s'est appuyée sur la norme V03-110 (AFNOR, 2010) et le Guide SANTE méthodologique de l'Union Européenne sur les résidus des pesticides. Le laboratoire a participé à trois essais interlaboratoires (EILs) organisés par l'INSPO (Canada) afin d'assurer l'exactitude de la méthode validée.

Résultats et discussion

A l'issue du plan d'expérience, le laboratoire a été en capacité de valider la méthode pour la CLD et 14 autres POPs. Une limite de quantification (LQ) de 0.06 µg/L de sérum a été obtenue pour toutes les molécules sauf pour le PCB 153 et le pp'DDE où la LQ a été validée à 0.12 µg/L. Les coefficients de variation de répétabilité et de fidélité intermédiaire étaient tous inférieurs à 20% comme spécifié par le guide SANTE. Des incertitudes entre 20% et 40% ont été obtenues. L'exactitude de cette méthode a été vérifiée à l'aide de 3 EILs. Des z-scores conformes compris entre -3 et 3 ont été obtenues pour toutes les molécules. Ce travail permet à présent de disposer d'une méthode validée et utilisable en routine pour les études épidémiologiques et est actuellement utilisée pour le dosage des échantillons provenant de l'étude épidémiologique KARUFERTIL.

Références bibliographiques

Dereumeaux, C., Volatier, J. L., Guldner, L., Saoudi, A., Pecheux, M., Rivière, G., & Fillol, C. (2020). Chlordecone in French West Indies: from the characterization of food contamination to impregnation in the population. Results from the Kannari study 2013-2014

Saint-Hilaire, M., Plumain, D., Thomé, J. P., Adam, C., Scholl, G., Vedy, S., ... & Guyomard-Rabenirina, S. (2023). Validation of an HPLC-MS/MS method with QuEChERS extraction using isotopic dilution to analyze chlordecone in human serum. *Journal of Chromatography B*, 1229, 123894.

AFNOR. (2010). NF V03-110. Analyse Des Produits Agricoles et Alimentaires. Protocole de Caractérisation En Vue de La Validation d'une Méthode d'analyse Quantitative Par Construction Du Profil d'exactitude.

Analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues analysis in Food and Feed - SANTE 11312/2021 v2026

Outil interactif de visualisation de la contamination des denrées alimentaires par le chlordécone

Ngoc-Du Martin Luong^{1*}, David Makowski², Pierre-Marie Badot³, Jean-Charles Le Blanc⁴, Ariane Dufour¹, Anne Thebault¹, Jean-François Masfaraud⁵, Yann Sivry⁶, Karine Tack¹, Géraldine Carne^{1,a}, Marie-Louise Scippo^{7,b}, Bruno Le Bizec^{8,b}, Julien Jean¹

¹ Anses, Direction de l'Evaluation des Risques

² Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE)

³ Université de Franche-Comté, UMR 6249 Chrono-environnement, CNRS

⁴ Anses, Laboratoire de sécurité des aliments

⁵ Université de Lorraine, UMR 7630 LIEC - Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux

⁶ Université Paris Cité, Institut de physique du globe de Paris, CNRS, F-75005 Paris, France

⁷ Université de Liège

⁸ Oniris, INRAE, LABERCA

* ngoc-du.luong@anses.fr

^a Coordination du Comité d'Experts Spécialisés (CES) « Evaluation des risques physico-chimiques liés aux aliments » (ERCA)

^b Présidence du CES ERCA

Membres du CES ERCA : Claude Atgié, Pierre-Marie Badot, Rachida Chekri, Marie-Yasmine Dechraoui Bottein, Nicolas Delcourt, Christine Demeillers, Virginie Desvignes, Erwan Engel, Gautier Eppe, Anne-Sophie Ficheux, Eric Houdeau, Jean-Philippe Jaeg, Emilie Lance, Olivier Laprevote, Michel Laurentie, Jean-Charles Leblanc, Ludovic Le Hégarat, Nicolas Loiseau, David Makowski, Francesca Mancini, Eric Marchioni, Jean-François Masfaraud, Mathilde Munier, Isabelle Oswald, Anne Platel, Yann Sivry, Paule Vasseur.

◆ Messages-clés :

L'Anses procède à l'harmonisation de plusieurs milliers de données de contamination des aliments par le chlordécone, collectées depuis 2009, et les rassemble au sein d'une base de données interactive mise à disposition de l'ensemble des parties prenantes. Cet outil permet la visualisation et l'exploration approfondie des données. Des mises à jour périodiques de l'outil sont envisagées afin d'y intégrer les nouvelles données collectées.

Mots-clés : base de données, contamination, surveillance, exposition alimentaire, risque sanitaire

Contexte et enjeux

Dans le cadre du plan Chlordécone IV, qui vise à renforcer les mesures de protection de la santé des populations antillaises face aux risques liés au chlordécone, l'Anses a été saisie afin de fournir un appui scientifique et technique destiné à orienter le choix des denrées à prendre en compte par le gestionnaire dans les dispositifs pluriannuels de surveillance et de contrôle (PS/PC) des produits mis sur le marché. Dans le cadre de cette expertise, une méthodologie adaptée au suivi de la contamination à travers ces dispositifs a été adaptée, ce qui a nécessité une analyse approfondie ainsi qu'une visualisation des niveaux de contamination des aliments au fil du temps. A cette fin, plusieurs milliers de données de contamination des aliments par le chlordécone, collectées annuellement depuis 2009, ont été harmonisées par l'Anses.

La base de données générée est désormais intégrée dans un outil de visualisation interactif permettant à l'ensemble des acteurs de s'approprier son exploration et son utilisation.

Matériel et méthodes

A ce jour, les données intégrées dans l'outil correspondent, d'une part, à celles mobilisées dans le cadre de l'expertise de l'Anses en lien avec l'étude Kannari (Anses, 2017), couvrant plusieurs campagnes de prélèvements réalisées entre 2009 et 2016, et, d'autre part, à celles recueillies dans les dispositifs de surveillance et de contrôle pour les prélèvements effectués entre 2014 et 2023.

La base harmonisée, qui rassemble à ce jour environ 30 000 données, couvre plusieurs dizaines d'aliments et de groupes d'aliments - notamment des produits végétaux, carnés et issus de la pêche - représentatifs des denrées produites ou consommées aux Antilles.

Résultats et discussion

Les différents modules de l'outil interactif permettent de visualiser, année par année ou sur une période pluriannuelle définie par l'utilisateur, plusieurs indicateurs relatifs au suivi de la contamination des denrées. Figurent notamment parmi ces indicateurs le nombre annuel de prélèvements réalisés, les taux de détection ainsi que les niveaux de contamination observés pour les différents aliments analysés. Ces indicateurs peuvent être explorés selon plusieurs dimensions : par territoire (Guadeloupe ou Martinique), par zones classées comme réputées contaminées ou non, ou encore selon les circuits d'approvisionnement des denrées, en fonction des paramètres sélectionnés par l'utilisateur. Plusieurs métriques statistiques accompagnent les visualisations : contamination moyenne ou médiane, variabilité inter et intra-annuelle, les distributions ainsi que l'évolution des limites analytiques. L'outil permet également d'identifier facilement les aliments ou groupes d'aliments nécessitant une vigilance particulière, sur la base de critères liés aux taux de détection et/ou à un seuil de contamination prédéfini. En complément, il propose une visualisation de la hiérarchie des aliments contribuant majoritairement à l'exposition par ingestion au chlordécone, tant pour la population générale que pour les individus les plus à risques dont l'exposition dépasse la valeur toxicologique de référence, chez les adultes comme chez les enfants (Anses, 2021, 2022).

Une mise à jour périodique de l'outil est envisagée, notamment afin d'intégrer de nouvelles données issues des PS/PC et/ou provenant d'autres expertises menées par l'Anses.

Références bibliographiques

Anses, 2017. Avis de l'Anses relatif à l'actualisation des données d'exposition par voie alimentaire afin d'évaluer les risques des populations antillaises et émettre des recommandations de consommation dans le cadre du projet Kannari « Santé, nutrition et exposition à la chlordécone aux Antilles » et aux limites maximales de résidus (LMR) pour le chlordécone.

Anses, 2021. Avis de l'Anses relatif aux « valeurs sanitaires de références pour le chlordécone ».

Anses, 2022. Avis de l'Anses relatif à la réévaluation des risques sanitaires prenant en compte la construction et la mise à jour de valeurs sanitaires de référence (externe et interne) du chlordécone.

Anses, 2024. Appui scientifique et technique de l'Anses relatif au développement d'une méthodologie de suivi des tendances en matière de contamination par le chlordécone des aliments produits localement par les professionnels ou les particuliers détenteurs de jardins familiaux (JaFa) aux Antilles françaises.

L'exposition alimentaire de la population des Antilles au chlordécone issue de l'étude ChlorExpo : méthode de calcul probabiliste et lien avec le circuit d'approvisionnement

Ariane Dufour¹, Léna Provost¹, Agnès Fournier², Soazig Lemoine³, David Makowski⁴, Eric Marchioni⁵, Caroline Méjean⁶, Chris Roth¹, Magalie Lesueur-Jannoyer⁷

¹ Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), Direction de l'évaluation des risques - ² Université de Lorraine, Inrae, Laboratoire Animal et Agroécosystèmes - ³ Université des Antilles, Laboratoire de biologie marine - ⁴ Inrae, UMR MIA-PS - ⁵ Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien UMR 7178, CNRS/Unistra, Equipe de Chimie Analytique des Molécules Bioactives et Pharmacognosie - ⁶ MoISA, Univ Montpellier, CIRAD, CIHEAM-IAMM, INRAE, IRD, L'Institut Agro - ⁷ Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), Direction régionale Antilles- Guyane

* chris.roth@anses.fr

♦ Messages-clés :

- Le calcul d'exposition réalisé lors de l'étude ChlorExpo, reposant sur une approche probabiliste basée sur des tirages aléatoires de la contamination et éventuellement du circuit d'approvisionnement, permet d'intégrer l'incertitude liée à ces données dans l'estimation de l'exposition.
- Des méthodes développées dans le cadre de l'étude ChlorExpo ont permis d'étudier précisément la relation entre la manière dont les individus s'approvisionnent et leur niveau d'exposition.

Mots-clés : chlordécone, exposition alimentaire, circuit d'approvisionnement, tirage aléatoire

Contexte et enjeux

La principale voie d'exposition au chlordécone des populations vivant aux Antilles est la voie alimentaire. Dès le début des années 2000, diverses mesures de gestion ont été mises en œuvre dans le but de réduire cette exposition : détermination de limites maximales de résidus, recommandations de consommation alimentaire, mise en place de pratiques agricoles adaptées en sols contaminés. Afin d'identifier des leviers d'action, la connaissance préalable de l'exposition et de ses déterminants est essentielle. L'Anses a ainsi conduit des études sur l'évaluation de l'exposition alimentaire au chlordécone des populations de Guadeloupe et Martinique et le risque sanitaire associé (Anses 2017, 2022). Dans ces études, l'exposition au chlordécone par la voie alimentaire a été évaluée à partir de la contamination des denrées alimentaires crues. L'étude ChlorExpo (Dufour et al. 2026) marque donc une avancée par rapport aux méthodologies précédentes. En effet, l'objectif de cette étude, mise en place en 2021, est d'affiner l'estimation de l'exposition alimentaire au chlordécone de la population des Antilles, en utilisant de nouvelles données de contamination des aliments « tels que consommés », prenant ainsi en compte les habitudes d'approvisionnement et de cuisson des aliments.

Matériel et méthodes

ChlorExpo s'inspire de la méthodologie des études de l'alimentation totale, recommandée pour évaluer l'exposition alimentaire chronique de la population à des substances toxiques. Les données utilisées pour le calcul d'exposition sont celles de l'enquête Kannari réalisée en 2013- 14, pour la consommation, et les données collectées dans ChlorExpo, pour la contamination. Ces dernières sont les plus représentatives possible de la contamination actuelle en chlordécone dans les aliments « tels que consommés » par la population des Antilles. Pour prendre en compte la variabilité de la contamination, l'échantillonnage a été réalisé sur chaque île dans le circuit formel, dans le circuit informel en zone réputée contaminée et dans le circuit informel en zone réputée non contaminée.

Le calcul d'exposition a été développé à l'aide d'une approche probabiliste afin de tenir compte des incertitudes liées au manque ponctuel d'information sur le circuit d'approvisionnement et aux données de contamination. L'incertitude associée aux contaminations des aliments provient notamment des contraintes d'échantillonnage, de préparation et de cuisson des aliments. Ce calcul reflète ainsi plus précisément l'état

des connaissances sur les données de consommation et de contamination des aliments et leur implication sur l'estimation de l'exposition de la population.

Afin de mettre en évidence un effet du circuit d'approvisionnement sur le niveau de l'exposition, une analyse descriptive des données d'exposition est d'abord réalisée dans les sous- populations définies selon le circuit et la zone d'approvisionnement des individus. Puis, une analyse statistique quantitative plus précise est mise en place au niveau de l'ensemble de la population pour déterminer l'existence d'un effet de la proportion d'approvisionnement d'un circuit donné sur le niveau d'exposition des individus et de le quantifier, le cas échéant.

Résultats et discussion

S'agissant du modèle probabiliste d'exposition, lorsque le circuit d'approvisionnement est manquant, il est tiré aléatoirement selon une loi de probabilité discrète en tenant compte des habitudes d'approvisionnement à l'échelle individuelle si possible, et sinon, à l'échelle populationnelle. Parallèlement, chaque valeur de contamination est tirée aléatoirement dans une distribution de probabilité lognormale ajustée sur les contaminations observées pour l'aliment considéré. L'exposition au chlordécone est calculée sur l'ensemble de la population considérée à l'aide de 1000 tirages aléatoires conduisant à 1000 distributions de l'exposition de la population. Ces distributions permettent d'estimer l'exposition de la population et l'intervalle de confiance à 95% qui l'entoure. L'utilisation de 1000 tirages permet d'assurer que les résultats obtenus sont stables à 1% près.

S'agissant du lien entre le niveau de l'exposition et le type d'approvisionnement, des sous- populations sont définies par rapport à la médiane des niveaux d'approvisionnement. Ainsi, la sous-population des individus s'approvisionnant le plus dans un circuit donné est définie par les 50% d'individus ayant la proportion d'approvisionnement la plus élevée dans ce circuit. De manière symétrique, l'autre moitié de la population forme la sous-population des individus s'approvisionnant le plus dans l'autre circuit. Les deux sous-populations sont disjointes.

Parallèlement, afin d'affiner l'analyse du lien entre l'exposition et le type d'approvisionnement, un modèle de régression log-linéaire a été développée et testé pour, d'une part, comparer l'effet de l'approvisionnement en circuit formel par rapport au circuit informel sur l'exposition et, d'autre part, comparer l'effet de l'approvisionnement en circuit informel en zone réputée contaminée par rapport au circuit informel zone réputée non contaminée sur l'exposition.

Références bibliographiques

Anses. 2017. Exposition des consommateurs des Antilles au chlordécone, résultats de l'étude Kannari. Maisons-Alfort. <https://www.anses.fr/fr/system/files/ERCA2014SA0029Ra.pdf>.

Anses 2022. Avis de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à la réévaluation des risques sanitaires prenant en compte la construction et la mise à jour de valeurs sanitaires de référence (externe et interne) du chlordécone. Maisons-Alfort. <https://www.anses.fr/fr/system/files/ERCA2018SA0166.pdf>.

Ariane Dufour, Léna Provost, Agnès Fournier, Soazig Lemoine, David Makovski, Eric Marchioni, Caroline Méjean, Chris Roth, Magalie Lesueur-Jannoyer, 2026, ChlorExpo : Etude affinée de l'exposition alimentaire de la population des Antilles au chlordécone, Abstract pour le colloque « Chlordécone, comprendre et agir ».

Utilisation de *Hydra vulgaris* et de *Paracentrotus lividus* comme modèles d'étude des effets transcriptionnels de l'exposition au chlordécone et aux cocktails de pesticides

Calli Paul^{1*}, Anouar Toumi¹, Anna Maria Alklaiany³, Virgile Calvert¹, Magalie Claeys-Bruno¹, Laetitia De Jong¹, Pascal Hingamp¹, Béatrice Liorod³, Xavier Moreau¹, Sonia Ternengo², Pascal Mirleau¹, Pierre-Henri Villard^{1*}

¹ IMBE, UMR CNRS 7263, IRD 237, Aix Marseille Université, Avignon Université, Marseille, France.

² Stella Mare, UMR CNRS 6134 SPE/UAR CNRS 3514, Università di Corsica Pasquale Paoli, Corte, France.

³ TGML, TAGC U1090 INSERM, Aix Marseille Université, Marseille, France.

* calli.paul@imbe.fr ; pierre.villard@univ-amu.fr

◆ Messages-clés :

- L'oursin et l'hydre d'eau douce sont testés comme modèles alternatifs en écotoxicologie pour étudier des effets cocktails de pesticides à base de chlordécone.
- Chez l'hydre, les cocktails de pesticides induisent des modifications de l'organisation de la chromatine, du trafic intracellulaire et de l'architecture cellulaire.
- Chez l'oursin les cocktails de pesticides induisent des réponses transcriptionnelles variable selon les conditions, suggérant des effets tumorigènes et soulignant la complexité des effets cocktails.

Mots-clés : cocktail de pesticides, RNA-seq, Hydra, Oursin, expression génétique différentielle

Contexte et enjeux

Le développement des activités anthropiques a conduit à une exposition chronique à faible dose des êtres vivants à de multiples composés chimiques. Ces effets cocktails sont peu caractérisés et peuvent avoir des effets délétères, notamment les cocktails de perturbateurs endocriniens (PE) dont les relations dose-effet sont non monotones

Le chlordécone (CLD), considéré comme un PE, a été largement utilisé comme insecticide dans les bananeraies des Antilles françaises de 1973 à 1993, son utilisation massive a conduit à une pollution durable du sol et des eaux. Les données épidémiologiques témoignent d'un effet de type PE : augmentation du risque de cancer de la prostate, atteintes cognitives et motrice, diminution de la durée de la grossesse et de la fertilité [1]. Les données OPALE [2] montrent que le CLD reste le polluant majeur dans les eaux, la deuxième source majeure de pollution est l'acide aminométhylphosphonique (AMPA), principal produit de dégradation du glyphosate, et parmi les fongicides, l'azoxystrobine (AZ) utilisée post-récolte, est également un polluant majeur. Les réglementations actuelles demandent à étudier la toxicité et l'écotoxicité des molécules chimiques, mais les effets cocktails n'y sont pas soumis or ils ne peuvent pas être extrapolés à partir de données individuelles. L'hydre d'eau douce, *Hydra vulgaris*, et l'oursin, *Paracentrotus lividus*, constituent des modèles alternatifs en toxicologie conformes à la directive européenne 2010/63/EC. Le génome de ces deux espèces a été séquencés, permettant la mise en œuvre d'approches transcriptomiques. De surcroît, *P. lividus* partage des gènes orthologues [3] et de nombreuses voies de signalisation sont conservées chez l'humain. Dans un contexte de santé unique (One Health), nous avons utilisé ces deux modèles invertébrés pour évaluer les effets d'exposition à faibles concentrations environnementales de cocktails de pesticides à base de CLD sur leur transcriptome.

Matériel et méthodes

Un plan d'expériences a été utilisé pour définir 17 conditions de cocktails de pesticides (CLD + AMPA + AZ) à des concentrations basées sur les données du rapport OPALE [2]. Les hydres (clone d'origine martiniquaise) et les oursins (élevage de Stella Mare) ont été exposés pendant 14 jours et 7 jours, respectivement (pool de 30 individus en triplicats pour les hydres et un individu en triplicats pour les oursins). Après exposition, les ARNs ont été extraits, reverse-transcrits en ADNc, séparés en bibliothèques nucléotidiques qui ont été séquencées sur plateformes Illumina (TGML, Marseille, France). Les outils bio-informatiques ont permis de filtrer les séquences (FastP), de les aligner aux génomes de référence (STAR), puis de quantifier l'expression génique (featureCounts). Les analyses d'expression génique

différentielles entre chaque condition de cocktail et la condition contrôle ont été réalisées avec le package R DESeq2 Bioconductor [4].

Résultats et discussion

Les profils d'expressions géniques obtenus pour *H. vulgaris* sont homogènes pour chaque tripliquât et il existe des différences significatives entre les conditions étudiées. L'analyse d'expression différentielle entre la condition contrôle et les conditions cocktails a montré une forte variabilité des réponses transcriptionnelles, allant de 25 à 3448 gènes différentiellement exprimés (DEGs) (p-value < 0,05) ; 10 conditions sur 15 étaient majoritairement associées à des surexpressions ; et 27 gènes pivot ($\log_2FC \geq 1$ dans au moins trois conditions cocktail) ont été mis en évidence. Ces résultats suggèrent que les cocktails étudiés modifient l'organisation de la chromatine, du trafic intracellulaire et de l'architecture cellulaire chez *H. vulgaris*, ce qui pourrait réduire la résilience physiologique et amplifier la résistance aux stress environnementaux.

Chez *P. lividus* l'analyse d'expression différentielle a révélé des DEGs très variables en fonction des conditions cocktail. Sur les 7097 DEGs observés (p-value < 0,05), 3950 ont été observés uniquement pour une condition, 2 ont été mis en évidence dans 13 conditions, et aucun DEGs était observable dans toutes les conditions. Parmi les 2 DEGs, l'un des gènes code pour un orthologue de la protéine kinase interagissant avec Traf2 et NCK (TNIK) qui régule la signalisation Wnt/ β -caténine orchestrant la prolifération, la différenciation, la polarité et le devenir cellulaire [5]. Les défauts de la voie de signalisation Wnt/ β -caténine sont associés à des troubles du développement, des maladies dégénératives et à des cancers. Une étude plus poussée des DEGs correspondants à des gènes orthologues chez l'oursin et l'Homme est en cours.

En définitive les données présentées ne sont que préliminaires et après finalisation de l'analyse bio-informatique et l'identification des gènes cible d'intérêt, une approche par plan d'expérience permettra de modéliser la réponse biologique. Nos données cependant démontrent que les effets transcriptomiques induits varient en fonction des conditions cocktail, confirmant la nécessité d'étudier spécifiquement leurs effets. Les pipelines d'analyse bio-informatique des données RNA-seq ont été validées chez ces deux espèces, autorisant des analyses transcriptomiques comparatives inter-phylums de l'effet de concentrations environnementales de polluants. Notre approche couplant espèces invertébrés (hydres, oursins), transcriptomique et plan d'expérience permettra de fournir une approche alternative pour étudier les impacts de la pollution sur la santé des écosystèmes. De surcroît si les gènes cibles modulés chez l'oursin présentent des orthologues chez l'Homme cela pourrait alerter pour des risques potentiels en santé humaine. Notre démarche s'inscrit parfaitement dans une perspective One Health.

Ce travail a été financé par l'ANR LiCOCO (ANR-22-CHLD-0002).

Références bibliographiques

- [1] Multigner, L., Kadhel, P., Rouget, F. et al. (2016). Chlordecone exposure and adverse effects in French West Indies populations. *Environmental Science and Pollution Research International*, 23(1), 3-8. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4621-5>
- [2] Delarque, S., Pak, L.T. (2023). Caractérisation des évolutions des concentrations en pesticides dans les eaux de surface du bassin versant du Galion en Martinique : résultats de six campagnes de suivi. Rapport final.
- [3] Marlétaz, F., Couloux, A., Poulain, J. et al. (2023). Analysis of the *P. lividus* sea urchin genome highlights contrasting trends of genomic and regulatory evolution in deuterostomes. *Cell Genomics*, 3(4), Article 100295. <https://doi.org/10.1016/j.xgen.2023.100295>
- [4] Love MI, Huber W, Anders S (2014). "Moderated estimation of fold change and dispersion for RNA-seq data with DESeq2." *Genome Biology*, 15, 550. doi:10.1186/s13059-014-0550-8.
- [5] Maurice, M.M., Angers, S. (2025) Mechanistic insights into Wnt-beta-catenin pathway activation and signal transduction. *Nat Rev Mol Cell Biol.*26(5):371-388. doi: 10.1038/s41580-024-00823-y.

L'exposition prolongée aux pesticides induisant des risques de fibrillation atriale et de dysfonctionnement mitochondrial : cas particulier du Chlordécone

Alexia Fundere^{1,2*}, Fatima Radouani^{1,3}, Marie-Daniela Dubois¹, Astrid Monfort^{1,6}, Magalie Vatin Inamo^{1,2}, Prisca Jalta^{1,3}, Feng Xiong⁷, Martin G. Sirois⁷, Jean- François Tanguay⁷, Jean-Claude Tardif⁷, Rémi Nevière^{1,5}, Dabor Resiere^{1,4}, Roddy Hiram⁷

¹ Equipe de Recherche UR5_3 PC2E, Université des Antilles, 97200 Fort de France, France

² Département de Biologie, Faculté des Sciences exactes et naturelles, Université des Antilles, 97110 Pointe-à-Pitre, France

³ Département de Recherche, CHU Martinique, 97261 Fort-de-France, France

⁴ Département de Toxicologie et des Soins critiques, CHU Martinique, 97261 Fort-de-France, France

⁵ Département de Physiologie clinique, CHU Martinique, 97261 Fort-de-France, France

⁶ Département de Cardiologie, CHU Martinique, 97261 Fort-de-France, France

⁷ Institut de Cardiologie de Montréal, Québec, Canada

* fundere.alexia@gmail.com

◆ Messages-clés :

La CLD peut être décrit comme substance entraînant un dysfonctionnement mitochondrial et un arythmogène.

Mots-clés : chlordécone, mitochondries isolées, tissu atrial, cœur humain

Contexte et enjeux

L'exposition au chlordécone (CLD), un pesticide organochloré, est un sujet de préoccupation majeur aux Antilles, notamment en Guadeloupe et en Martinique (1). Ce composé persiste dans l'environnement malgré son interdiction depuis 1993, entraînant une contamination significative des populations locales. Les études montrent que cette exposition entraîne des risques de cancer de la prostate, des problèmes de fertilité (2-3). Les patients exposés montrent aussi des problèmes cardiaques notamment des signes de fibrillation atriale. La fibrillation atriale (FA) est la forme d'arythmie la plus fréquente (4). De plus, la recherche montre que la CLD perturbe l'activité myocardique Na^+/K^+ -ATPase, dérégule la pompe mitochondriale $\text{Mg}^{2+}/\text{ATPase}$ dans les cardiomyocytes (CM), et inhibe la pompe CM $\text{Ca}^{2+}/\text{ATPase}$ (5).

Les objectifs de cette étude sont donc de montrer que l'exposition prolongée induirait de la FA et un dysfonctionnement mitochondrial. Mais également que l'arrêt de l'exposition au CLD induirait une diminution de la vulnérabilité à la FA.

Matériel et méthodes

Dans un premier temps, des rats Wistar mâles (225 g à 250 g) ont été exposés à la CLD (0,1 $\mu\text{g}/\text{L}$ ou 1 $\mu\text{g}/\text{L}$) diluée dans leur eau quotidienne pendant 28 jours. À partir du 29^e jour, tous les animaux ont été exposés à de l'eau exempte de CLD. L'étude électrophysiologique (EPS), l'échocardiographie et la cartographie optique cardiaque ont été réalisées au jour J- 28 et J-56 pour étudier la fonction cardiaque et la conduction auriculaire. Les niveaux d'expression des gènes et des protéines impliqués dans l'inflammation, la fibrose et la sénescence ont été quantifiés par histologie, immunoblot et qPCR.

Dans un second temps, la respiration mitochondriale a été mesurée à partir de tissus cardiaques humaines après un temps d'incubation de 24 heures maximum à 4°C . Pour cela, les fibres cardiaques ont été séparées en deux groupes, un avec CLD et un sans CLD. Puis la respiration mitochondriale a été mesurée à 37°C à l'aide d'un respiromètre à haute résolution.

Résultats et discussion

À J28, tous les rats CLD ont développé une FA alors que les rats CTRL ne l'ont pas fait. Comparativement à la CTRL, le poids et la consommation d'eau étaient plus faibles chez les animaux exposés à la CLD, bien que leur consommation alimentaire soit plus élevée.

L'échocardiographie a révélé que les animaux atteints de FA présentaient une contractilité ventriculaire gauche accrue et un remplissage auriculaire plus important par rapport aux rats CTRL. La contamination aiguë par la CLD a entraîné une diminution de la vitesse de conduction auriculaire et des durées potentielles d'action auriculaire. Un cycle de sevrage de la CLD de 28 jours s'est accompagné d'une normalisation du poids et d'une atténuation de l'indisponibilité de la FA, sans améliorer la fibrose auriculaire et la durée de la FA. L'exposition à la CLD a également diminué l'expression de l'ARNm p21 auriculaire droit et gauche, un effet qui n'est pas inversé par le sevrage de la CLD.

Pour conclure, ces résultats montrent un effet néfaste de l'exposition à la Chlordécone sur la santé cardiovasculaire. Cependant, ces données reposent sur des modèles expérimentaux (rongeurs) et ne permettent pas, à ce stade, d'établir un lien causal direct chez l'Homme.

Des études cliniques seront nécessaires afin de confirmer ces observations et de mieux caractériser les effets cardiovasculaires de la Chlordécone dans les populations exposées.

Références bibliographiques

- [1] Benoit, P.; Cravedi, J.P.; Desenclos, J.C.; Mouvet, C.; Rychen, G.; Samson, M. Environmental and human health issues related to long-term contamination by chlordane in the French Caribbean. *Environ Sci Pollut Res Int* 2020, 27, 40949- 40952. doi: 10.1007/s11356-020-09531-4.
- [2] Brureau, L.; Emeville, E.; Helissey, C.; Thome, J.P.; Multigner, L.; Blanchet, P. Endocrine disrupting-chemicals and bio331 chemical recurrence of prostate cancer after prostatectomy: A cohort study in Guadeloupe (French West Indies). *Int J Cancer* 2020, 146, 657-663. doi: 10.1002/ijc.32287.
- [3] Costet, N.; Pelé, F.; Comets, E.; Rouget, F.; Monfort, C.; Bodeau-Livinec, F.; Linganza, E.M.; Bataille, H.; Kadhel, P.; Mul334 tigner, L.; Cordier, S. Perinatal exposure to chlordane and infant growth. *Environ Res* 2015, 142, 123-34. doi:10.1016/j.envres.2015.06.023.
- [4] Andrade, J.; Khairy, P.; Dobrev, D.; Nattel, S. The Clinical Profile and Pathophysiology of Atrial Fibrillation: Relationships Among Clinical Features, Epidemiology, and Mechanisms. *Circ. Res.* 2014, 114, 1453–1468
- [5] Maier, W.E., Costa, L.G., 1990. Na⁺/K⁺-ATPase in rat brain and erythrocytes as a possible target and marker, respectively, for neurotoxicity: studies with chlordane, organotins and mercury compounds. *Toxicol Lett* 51 (2), 175–188.

Lien entre exposition à la Chlordécone et cancer de la prostate en Martinique : mise en place de l'étude ChloECaPa

Léila Cabrera^{1*}, Emilie Cordina-Duverger¹, Yannick Djoua², Gaëlle Fromont³, Rémi Houpert^{4,5}, Jacqueline Véronique^{4,6}, Clarisse Joachim-Contaret⁷, Florence Menegaux^{1*}

¹ Inserm U1018, CESP (Centre de recherche en Epidémiologie et Santé des Populations), équipe « Exposome et Hérité », Université Paris-Saclay, UVSQ

² CHU de Martinique, Service de Chirurgie Urologique, Fort-de-France, France

³ Inserm U1069, Tours ; CHU d'Orléans, Orléans

⁴ CHU Martinique, UF 3596 Recherche & Développement en Cancérologie, Fort-de-France, France

⁵ Aix Marseille Univ, Inserm, IRD, SESSTIM, Sciences Economiques & Sociales de la Santé & Traitement de l'Information Médicale, ISSPAM, Marseille, France

⁶ Université de Rennes, CHU Rennes, INSERM, LTSI - UMR 1099, Rennes, France

⁷ CHU de Martinique, UF1441 Registre des cancers de la Martinique, Pôle de Cancérologie Hématologie Urologie, Fort-de-France, France

* leila.cabrera@inserm.fr ; florence.menegaux@inserm.fr

◆ Messages-clés :

- L'incidence de cancer de la prostate est plus élevée aux Antilles qu'en France hexagonale et les taux d'incidence sont plus élevés aux Antilles que dans les populations noires américaines.
- La population des Antilles est soumise à une exposition majeure à la Chlordécone, en témoignent une contamination humaine (sang) et une contamination environnementale (eaux, sols, chaîne alimentaire).
- Une seule étude épidémiologique à ce jour a démontré une possible association entre exposition à la Chlordécone et cancer de la prostate en Guadeloupe, et la communauté scientifique s'accorde à dire qu'il y a nécessité de mener des investigations complémentaires.
- L'étude ChloECaPa vise une évaluation la plus complète possible de l'exposition à la Chlordécone (environnementale et professionnelle), avec également une approche multi polluants (évaluation de l'exposition à d'autres polluants persistants).

Mots-clés : Antilles, cancer, prostate, Chlordécone, environnement

Contexte et enjeux

Aux Antilles françaises, l'incidence du cancer de la prostate (CaP) est deux fois plus élevée qu'en France hexagonale (Joachim C et al. BMC Cancer. 2019 ; Deloumeaux J et al. Cancer Causes Control. 2017). Des facteurs environnementaux, dont l'exposition à des polluants persistants comme le Chlordécone (CD), sont fortement suspectés du fait d'une contamination humaine, avec une imprégnation de la population, et d'une contamination environnementale, avec une persistance de la molécule dans les eaux, les sols, ainsi que dans la chaîne alimentaire (Dereumeaux C et al. Etude Kannari. BEH. 2020). A ce jour, une seule étude épidémiologique réalisée en Guadeloupe entre 2004 et 2007 a mis en évidence une possible association entre l'exposition au CD et la survenue du CaP, l'étude Karuprostata (Multigner L et al. J Clin Oncol. 2010). Dans ce contexte, notre objectif est d'étudier le rôle du CD sur le risque de survenue du CaP, avec un intérêt particulier pour les cancers agressifs, en tenant compte des facteurs de risque connus et suspectés, y compris d'autres polluants. Pour ce faire, nous mettons en place en Martinique une nouvelle étude épidémiologique de type cas-témoins en population générale (étude ChloECaPa), dont l'équipe de recherche porteuse a l'expertise (Menegaux F et al. BMC Cancer. 2014).

Matériel et méthodes

Les cas éligibles seront tous les hommes âgés de moins de 80 ans et résidant en Martinique depuis au moins 6 mois nouvellement diagnostiqués pour un cancer de la prostate à partir du 1^{er} novembre 2025 (groupe patients). Les témoins seront des hommes de moins de 80 ans, appariés par fréquence sur l'âge par rapport aux patients, résidant en Martinique depuis au moins 6 mois et indemnes de cancer de la prostate. Deux groupes témoins seront inclus : le « groupe témoins 1 » composé d'hommes ayant des biopsies négatives suite à des dosages de PSA élevés et le « groupe témoins 2 » composé d'hommes recrutés en population générale par un institut de sondage, sans pathologie prostatique connue et ayant

effectué un dosage de PSA récent et normal. Au total, il est prévu d'inclure 1200 patients, 1200 témoins groupe 1 et 1200 témoins groupe 2 sur une période de 4 ans.

Un questionnaire standardisé, en face-à-face avec des infirmier(e)s spécialement recruté(e)s pour l'étude, permettra de recueillir des informations détaillées sur les expositions environnementales et professionnelles ainsi qu'un ensemble de facteurs de risques suspectés, comme des facteurs anthropométriques et métaboliques ou des facteurs infectieux, afin de pouvoir en tenir compte dans les analyses. Des prélèvements sanguins seront également réalisés afin de mesurer les taux de CD et autres polluants ainsi que les marqueurs génétiques associés au CaP.

Résultats et discussion

La mise en place d'une telle étude a nécessité l'obtention d'avis réglementaires, qui ont demandé énormément de temps. Après demande de promotion de l'étude à l'Inserm en février 2022 (INSERM C22-52), il a fallu plus d'un an pour obtenir l'avis favorable du comité de protection des personnes (CPP) en juillet 2023, deux ans pour obtenir l'autorisation de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) en janvier 2025 et conventionner avec le CHU de Martinique en novembre 2025. Une procédure de marché public a également été réalisée dans l'intervalle pour sélectionner l'institut de sondage qui sera en charge du pré-recrutement des témoins du groupe 2 (mai 2024).

Deux infirmières ont été recrutées à la mise en place de l'étude et les inclusions ont démarré le 15 avril 2026, pour une durée totale de la recherche (inclusion, circuit logistique, analyses des prélèvements) prévue pour 5 ans à partir de la première inclusion.

Au 28 mai 2026, parmi les 165 hommes éligibles identifiés (81 patients, 12 témoins du groupe 1 et 72 témoins du groupe 2), 72 hommes ont déjà pu être contactés (27 patients et 45 témoins groupe 2). Parmi ces 72 hommes, 43 ont accepté de participer (12 patients et 31 témoins groupe 2), 15 ont refusé (7 patients et 8 témoins groupe 2), 11 ont demandé à recevoir la lettre d'information avant de prendre leur décision (7 patients et 4 témoins groupe 2) et 3 ont demandé à être recontacté ultérieurement (1 patient et 2 témoins du groupe 2). Parmi les hommes qui ont accepté de participer, 16 ont déjà été interrogés (1 patient et 15 témoins groupe 2) et 22 rendez-vous sont déjà programmés (11 patients et 11 témoins groupe 2) pour les mois de juin et juillet 2026.

Une troisième infirmière a tout récemment rejoint le projet, et 3 nouvelles infirmières seront recrutées sur le projet au mois de septembre, ce qui permettra d'accroître le nombre d'inclusions afin d'atteindre les objectifs initialement prévus.

Notre étude permettra d'appréhender la nature du lien entre CD et CaP. Si un tel lien était observé, l'étude permettrait d'aller plus loin dans la compréhension de ce lien : est-il plus spécifique des cancers agressifs ? est-il influencé par d'autres facteurs ? et par conséquent d'identifier des hommes à risque, en cas d'exposition au CD, de développer un CaP agressif. Cette étude est réalisée en partenariat avec le CHU de Martinique et le LABERCA et est financée par l'INCa, la DGS et l'Inserm. L'étude s'inscrit dans un programme de recherche plus large mené par le consortium de recherche CHLOECAPA qui, lui-même, s'inscrit dans le cadre de la mesure R12 du plan Chlordécone IV.

Références bibliographiques

- Joachim C, et al. Cancer burden in the Caribbean: an overview of the Martinique Cancer Registry profile. *BMC Cancer*. 2019 Mar 15;19(1):239.
- Deloumeaux J, et al. Prostate cancer clinical presentation, incidence, mortality and survival in Guadeloupe over the period 2008-2013 from a population-based cancer registry. *Cancer Causes Control*. 2017 Nov;28(11):1265-1273.
- Dereumeaux C, et al. Chlordécone aux Antilles : de la caractérisation de la contamination alimentaire à l'imprégnation des individus. Résultats de l'étude kannari 2013-2014. *BEH* 18-19. 2020 Jul 7; 370-378.
- Multigner L, et al. Chlordecone exposure and risk of prostate cancer. *J Clin Oncol*. 2010 Jul 20;28(21):3457-62.
- Menegaux F, et al. EPICAP Study Group. Epidemiological study of prostate cancer (EPICAP): a population-based case-control study in France. *BMC Cancer*. 2014 Feb 19;14:106.

Regard sur l'expérience du cancer de la prostate dans un contexte de pollution à la chlordécone : une approche interdisciplinaire en sciences sociales

Aude Andry-Pinville^{1*}, Rubis Le Coq¹, Sara Angeli-Aguiton², Malcom Ferdinand¹

¹ IRISSO CNRS

² PHEEAC-CNRS

* aude.andry@dauphine.psl.eu

◆ Messages-clés :

- La compréhension des effets de la pollution par la chlordécone ne peut se limiter aux données biomédicales et épidémiologiques ; elle nécessite une analyse fine des expériences sociales et sanitaires des personnes concernées.
- Mobilisant plusieurs disciplines des sciences humaines et sociales (sociologie, anthropologie de la santé, science politique, philosophie politique), le WP3 rend visibles les vécus de la maladie, les perceptions du risque, les trajectoires de soins et les rapports aux institutions dans un contexte de pollution durable.
- Ce travail met en lumière les conditions sociales de production, de circulation et d'appropriation des savoirs relatifs à la chlordécone et au cancer de la prostate en Martinique, et contribue à éclairer les réponses sanitaires et publiques au plus près des réalités locales.

Mots-clés : *cancer de la prostate, chlordécone, sciences humaines et sociales, enquête qualitative, expérience des patients*

Contexte et enjeux

La pollution durable par la chlordécone en Martinique constitue un enjeu sanitaire, environnemental et social majeur. Si de nombreux travaux ont documenté l'exposition des populations et exploré les liens entre chlordécone et pathologies, notamment le cancer de la prostate, cette contamination s'inscrit également dans des expériences vécues marquées par l'incertitude, les controverses scientifiques et les tensions institutionnelles.

Le projet CHLOECAPA, initié en 2021 et présenté dès 2022, s'inscrit dans un consortium de recherche financé par l'INCa et structuré en plusieurs work packages. Le WP3, porté par des chercheur·ses et ingénieure de recherche du CNRS (IRISSO, PHEEAC) sous la direction scientifique de Malcom Ferdinand et Sara Aguiton, vise à analyser la manière dont la pollution, la maladie et la santé environnementale sont vécues, interprétées et prises en charge. Ce volet s'appuie sur une collaboration étroite avec le WP2, consacré à l'approche épidémiologique du cancer de la prostate, dirigé par Florence Ménégau et financé par l'INSERM, notamment pour le recrutement des participants et l'articulation des analyses. Le WP3 participe ainsi à une étude inédite en Martinique, constituant la première enquête qualitative dédiée au cancer de la prostate dans un contexte d'exposition à la chlordécone.

Matériel et méthodes

L'étude a débuté en septembre 2025 par une phase de préparation méthodologique et de mise en place des collaborations. L'enquête qualitative débutera en mai-juin 2026. Le WP3 mobilise une méthodologie qualitative reposant sur des entretiens semi-directifs, des observations et l'analyse de situations, afin d'explorer les trajectoires de vie en environnement contaminé, les parcours de soins et les rapports aux dispositifs de prévention et de reconnaissance institutionnelle. Les personnes atteintes d'un cancer de la prostate seront majoritairement recrutées via le WP2. Un maximum de 60 entretiens est prévu, ou jusqu'à saturation des données. Les données sont pseudonymisées et traitées conformément aux exigences du RGPD.

Résultats et discussion

Le WP3 analyse les mécanismes sociaux par lesquels certaines dimensions de la pollution par la chlordécone et de ses effets sanitaires deviennent visibles, tandis que d'autres restent invisibilisées. Il met

en évidence la manière dont les personnes concernées interprètent les risques, s'approprient ou contestent les savoirs scientifiques, et négocient leur place dans les dispositifs de santé et d'action publique. Les résultats attendus montrent que la production de connaissances scientifiques ne se traduit pas mécaniquement en capacités d'agir. L'analyse des usages des données épidémiologiques et de leurs appropriations différenciées permet de documenter les écarts entre injonctions institutionnelles et expériences vécues de la maladie. En documentant les vécus des patients, leurs rapports aux institutions et les formes de mobilisation, le WP3 souligne l'apport central des sciences humaines et sociales pour relier compréhension des phénomènes sanitaires et enjeux d'action, et pour transformer les connaissances sur la chlordécone et le cancer de la prostate en leviers d'action adaptés aux réalités martiniquaises.

Références bibliographiques

1. Angeli-Aguiton, S., Le Coq, R., "Mobilisations collectives et santé environnementale en Martinique : quels enjeux pour les savoirs situés ?", *Revue à préciser*, (à paraître).
2. Ferdinand, M. *S'aimer la Terre : défaire l'habiter colonial*, Paris, Seuil, 2024, p. 70-87.
3. Bérard, Y. & Dufourd-Lévêque, A. Construire un futur " sans chlordécone " ? Promesses de remédiation, incertitudes, controverses. in *6e édition Journées Recherches - CHU de Martinique* (Fort-de-France (Martinique), France, 2024).
4. Angeli-Aguiton, S., Ferdinand, M., Fromont-Hankard, G., Joachim-Contaret, C. & Menegaux, F. LIEN ENTRE EXPOSITION À LA CHLORDÉCONE ET CANCER DE LA PROSTATE DANS LE CONTEXTE DES ANTILLES : CONSORTIUM DE RECHERCHE CHLOECAPA.
5. Le Coq, R., Aguiton, S., Cervenka, I., Foucault, J., "Perceptions, expériences et savoirs de la pollution au chlordécone et des risques sanitaires associés : apport des sciences sociales", in Jannoyer M., Benoit P., Ferdinand M., Garric J. (dir.), *Chlordécone : connaître pour agir*, Paris, Quae, (à paraître).

Faire parler les données existantes : une approche intégrée du cancer de la prostate et de l'exposition à la chlordécone en Martinique

Rémi Houpert^{1,2*}, Jacqueline Véronique-Baudin^{1,2}, Groupe CHLOECAPA³, Clarisse Joachim⁴

¹ CHU Martinique, Recherche et Développement en Cancérologie, Martinique, France

² Univ Rennes, CHU Rennes, INSERM, LTSI-UMR 1099, F-35000, Rennes, France

³ Consortium de recherche interdisciplinaire (CNRS, Inserm, CHU de Tours, CHU de Martinique)

⁴ CHU Martinique, Registre Général des Cancers, Martinique, France

* remi.houpert@chu-martinique.fr

♦ Messages-clés :

- En Martinique, le cancer de la prostate combine une incidence parmi les plus élevées au monde avec une mortalité en baisse et une survie nette à cinq ans supérieure à 97%.
- Aucun gradient de risque du cancer de la prostate n'est observé selon le niveau de contamination à la chlordécone.
- Les associations entre exposition à la chlordécone et profils de risque sont non linéaires et complexes.
- La mutualisation de données préexistantes est un levier opérationnel pour la décision en santé publique dans les territoires insulaires.

Mots-clés : cancer de la prostate, exposition environnementale, registre des cancers

Contexte et enjeux

Les données de morbidité et de mortalité montrent que le cancer de la prostate est un problème majeur de santé publique dans la région des Caraïbes (1). En Martinique, l'incidence standardisée mondiale du cancer de la prostate figure parmi les plus élevées au monde, avec un taux estimé à 164,5 pour 100 000 personnes-années (2). Le cancer de la prostate présente un profil épidémiologique spécifique, caractérisé par une sur-incidence et une sur-mortalité par rapport à la France hexagonale, un pronostic globalement très favorable avec une survie nette à cinq ans supérieure à 97 %, ainsi que des variations géographiques marquées au sein du territoire. Les caractéristiques ethno-géographiques et socio-économiques de la population peuvent expliquer ces disparités, mais l'exposition environnementale aux pesticides, et en particulier à la chlordécone, reste un axe de recherche majeur.

La chlordécone est un pesticide organochloré qui a été utilisé massivement dans les bananeraies de Martinique et de Guadeloupe entre 1972 et 1993. Malgré son interdiction, la persistance de cette molécule dans les sols et les écosystèmes justifie encore aujourd'hui une surveillance sanitaire renforcée, inscrite dans le cadre du Plan Chlordécone IV.

Le programme de recherche CHLOECAPA s'inscrit dans cette dynamique et vise à analyser les liens entre exposition environnementale à la chlordécone et cancer de la prostate. Nous rapportons les résultats du Work Package 1 dudit projet, dédié à l'analyse de données historiques issues des registres de cancers et des cartographies d'exposition environnementale. L'enjeu est double : produire des indicateurs robustes à partir de données déjà disponibles et démontrer l'intérêt d'une approche intégrée pour renforcer la surveillance environnementale des cancers dans la zone Caraïbe.

Matériel et méthodes

Nous avons inclus l'ensemble des cas de cancer de la prostate (CIM-10 : C61) entre le 1er janvier 2010 et le 31 décembre 2019, recensés par le registre général des cancers de la Martinique. Les variables recueillies comprenaient l'âge au diagnostic, la zone de résidence (au niveau de l'IRIS), le stade clinique, le taux de PSA et le score de Gleason. Les cancers localisés ont été classés selon la stratification de D'Amico (faible, intermédiaire, élevé), conformément aux recommandations françaises. Les formes régionales et métastatiques ont été regroupées. Les données d'exposition environnementale proviennent de la cartographie des sols contaminés par la chlordécone en Martinique, permettant de classer les zones en

quatre niveaux : non exposé, faible, modéré et élevé (3). L'adresse de résidence au diagnostic a été géocodée et rattachée au niveau d'exposition correspondant.

Les taux d'incidence et de mortalité standardisés sur l'âge ont été calculés à partir de la population mondiale de référence. Les tendances temporelles ont été analysées via les variations annuelles moyennes. La survie a été étudiée par la méthode de Kaplan-Meier et des modèles de Cox multivariés. Les comparaisons entre niveaux d'exposition et groupes cliniques reposaient sur des tests paramétriques et non paramétriques adaptés.

Résultats et discussion

Entre 2010 et 2019, 5 872 nouveaux cas de cancer de la prostate ont été recensés en Martinique. L'âge médian au diagnostic était de 68 ans, et près de 62 % des patients avaient 65 ans ou plus. La majorité des cancers étaient à un stade localisés, avec une prédominance des formes à risque intermédiaire (40 %) et élevé (33 %). Les formes avancées ou métastatiques représentaient environ 9 % des diagnostics, plus fréquentes chez les hommes âgés. L'âge apparaissait fortement associé au stade et au pronostic.

L'incidence standardisée est restée globalement stable sur la période étudiée, autour de 165 pour 100 000 personnes-années, tandis que la mortalité diminuait régulièrement. La survie globale à 5 ans atteignait près de 90 %.

Concernant l'exposition environnementale, la majorité des cas résidaient dans des zones à exposition faible ou modérée. Plusieurs associations statistiquement significatives mais non linéaires ont été observées entre niveaux d'exposition à la chlordécone et profils de risque, suggérant des mécanismes complexes. Ces résultats doivent être interprétés avec précaution, notamment en raison de possibles erreurs de classification résidentielle et de facteurs biologiques ou comportementaux non mesurés (4).

Ce travail original souligne l'intérêt méthodologique d'une approche intégrée combinant données de registres de cancers, cliniques, biologiques et environnementales. Le programme de recherche CHLOECAPA démontre qu'il est possible de transformer des jeux de données fragmentés en outils opérationnels, notamment via des tableaux de bord interactifs et des visualisations géographiques, utiles à la fois pour la recherche et pour l'aide à la décision en santé publique (5).

Références bibliographiques

1. Bray F, Laversanne M, Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* juin 2024;74(3):229-63.
2. Joachim-Contrat C, Véronique-Baudin J, Macni J, Ulric-Gervaise S, Cariou M, Billot-Grasset A, et al. Estimations régionales et départementales d'incidence et de mortalité par cancers en France, 2007–2016. Martinique [Internet]. Saint-Maurice: Santé publique France; 2019 janv. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr>
3. Houpert R, Veronique-Baudin J, Almont T, Beaubrun-Renard M, Boullard M, Pierre-Louis A, et al. Geographical disparities in cancer and occupational exposure to pesticides in a French-West Indies territory (2006-2019). *BMC Cancer.* 5 déc 2024;24(1):1500.
4. Ciocan C, Franco N, Pira E, Mansour I, Godono A, Boffetta P. Methodological issues in descriptive environmental epidemiology. The example of study Sentieri. *Med Lav.* 23 févr 2021;112(1):15-33.
5. Sonawane K, Borse KN, Jefferson M, Damgacioglu H, Carpenter MJ, Pearce JL, et al. Developing Catchment Area Data Dashboards for Cancer Centers: A Stakeholder- engaged Approach. *Prev Oncol Epidemiol.* 2024;2(1):2394193.

Développement d'une méthode de dosage de la chlordécone et de trois de ses produits de transformation dans différents tissus de la macrofaune du sol

Sandrine Christophe¹, Léa Bataille^{2,3,4}, Eva Chedru^{3,4}, Pierre-Loïc Saaidi⁵, Céline Pelosi², Mathieu Coulis^{3,4}, Maille Saint-Hilaire¹

¹ Institut Pasteur de Guadeloupe, Laboratoire C2AS (Chimie Analytique Appliquée à la Santé), F-97139 Les Abymes

² INRAE, Avignon Université, UMR EMMAH, F-84000, Avignon, France

³ CIRAD, UPR GECO, F-97285 Le Lamentin, Martinique, France

⁴ GECO, CIRAD, Université de Montpellier, Montpellier, France

⁵ Génomique Métabolique, Genoscope, Institut François Jacob, CEA, CNRS, Univ Evry, Université Paris-Saclay, Evry, France

* msaint-hilaire@pasteur-guadeloupe.fr

◆ Messages-clés :

- Des méthodes de type QuEChERS-LC-MS/MS ont été développées pour la quantification de la chlordécone et trois de ses produits de transformation dans les pieds d'escargots et des vers de terre
- Ces méthodes permettent la recherche de la 10-monohydrochlordécone et la 8-monohydrochlordécone en plus de la chlordécone et du chlordécol dans ces matrices
- La tendance des concentrations observées est la suivante : 10-monohydrochlordécone < 8-monohydrochlordécone < chlordécol < chlordécone

Mots-clés : chlordécone, produits de transformation, vers de terre, QuEChERS-LC-MS/MS, développement

Contexte et enjeux

La chlordécone, utilisée de manière intensive comme insecticide dans les bananeraies des Antilles afin de lutter contre le charançon du bananier, a entraîné une contamination durable de ces sols. Les connaissances sur l'impact de cette contamination sur la macrofaune du sol, en particulier les vers de terre et les escargots, restent limitées. En 2024, une première étude a été réalisée sur les invertébrés du sol. L'objectif était de mettre en évidence les mécanismes de transfert de la chlordécone vers les invertébrés du sol (Coulis et al., 2024). Dans le cadre de cette première étude, une méthode de type Quick, Easy, Cheap, Efficient, Rugged and Safe avec une analyse par chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem (QuEChERS-LC-MS/MS) a été développée pour doser uniquement la CLD et le chlordécol (CLDOH). En 2023, le projet de recherche CHLOR2NOU a débuté ; il vise à développer de nouveaux outils de surveillance pour la CLD et ses produits de transformation (PTs). Dans le cadre de ce projet, le laboratoire C2AS a développé une nouvelle méthode de type QuEChERS-LC-MS/MS pour doser la CLD, le CLDOH, mais aussi la 8-monohydrochlordécone ou 5b-hydrochlordécone (A2) et la 10-monohydrochlordécone (A1) dans les vers de terre et les pieds d'escargots.

Matériel et méthodes

La quantification de la CLD et de ses PTs a été réalisée sur des vers de terre et des pieds d'escargots prélevés dans des bananeraies en Martinique le long d'un gradient de contamination des sols à la CLD. Les parcelles étaient implantées sur deux types de sols différents : des andosols et des nitisols. Les vers de terre et les pieds d'escargots ont ensuite été lyophilisés puis broyés avant analyse. L'extraction de la CLD et de ses PTs a été effectuée à partir de la méthodologie QuEChERS. Pour chaque analyse, 0,3 g d'échantillon sont pesés, auxquels sont ajoutés deux étalons internes, ¹³C₁₀-CLD et ¹³C₈-CLDOH. A1 a été synthétisé d'après Chevallier et al., 2019. Une ré-hydratation ou non des échantillons est réalisée avant l'extraction à l'acétonitrile avec des sels. Considérant que les vers de terre et les pieds d'escargots constituent deux matrices différentes, deux méthodes de purification ont été testées : (1) la purification classique PSA C18 (Primary Secondary Amine) et (2) EMR Lipid (Enhanced Matrix Removal) recommandée pour les matrices riches en lipides. Pour terminer, le surnageant est récupéré et placé en vial pour l'injection sur la LC-MS/MS (Saint-Hilaire et al., 2018). Des échantillons exempts de CLD ont été dopés à des concentrations connues afin de s'assurer que la quantité ajoutée était bien retrouvée, avec une attention particulière portée au taux de récupération des concentrations des quatre molécules (devant être compris entre 70 et 120% selon le guide SANTE). 138 échantillons de vers de terre (*Pontoscolex corethrurus* et trois espèces épiées) et 12

échantillons de pieds d'escargots provenant du CIRAD, ont été analysés à l'aide des méthodes QuEChERS développées.

Des essais ont aussi été réalisés sur les hépatopancréas d'escargots mais le développement de la méthode reste à finaliser.

Résultats et discussion

Cette étude a permis de renforcer les capacités analytiques aux Antilles en développant avec succès deux méthodes QuEChERS-LC-MS/MS permettant de doser la CLD, le CLDOH, A2 et A1 dans les vers de terre et les pieds d'escargots. Les premiers essais réalisés sur les vers de terre et pieds d'escargots, incluaient une étape de réhydratation des échantillons suivie d'une purification de type PSA C18. Les résultats se sont révélés satisfaisants uniquement pour les échantillons de pieds d'escargots (taux de récupération conformes entre 70 et 120%). Pour les pieds d'escargots, les limites de quantification (LOQ) pour la CLD, A2 et A1 sont fixées à 6.7 µg/kg de MS et à 10 µg/kg de MS pour le CLDOH. Considérant les vers de terre comme une matrice riche en lipides, le support EMR-Lipid a été testé au lieu de la PSA-C18. Les résultats obtenus ont montré une extraction très peu efficace (taux de récupération non conformes). Un troisième essai a donc été réalisé en supprimant l'étape de réhydratation des échantillons tout en gardant la purification avec l'EMR-Lipid. Cette modification a permis une nette amélioration de l'extraction, avec des taux de récupération conformes entre 70 et 120%. Pour les vers de terre, les LOQ pour la CLD, A2 et A1 sont fixées à 33 µg/kg de MS et à 125 µg/kg de MS pour le CLDOH. La tendance observée pour les concentrations obtenues dans les échantillons de vers de terre est la suivante : la molécule A1 est détectée majoritairement à des concentrations inférieures à la LOQ, suivie de A2 (entre 33 et 603 µg/kg de MS), du CLDOH (entre 33 et 7200 µg/kg de MS) et de la CLD qui est présente à des niveaux bien plus élevés (entre 33 et 43521 µg/kg de MS). Dans les pieds d'escargots, A1, A2 et CLDOH n'ont pas été quantifiées et seule une très faible concentration de CLD a été mesurée (maximum à 37 µg/kg de MS). La liste des PTs devra être étendue aux polychloroindènes et aux acides polychloroindénecarboxyliques, possiblement formés au cours de certains processus de dégradation de la CLD (Chevallier et al., 2019).

Références bibliographiques

- Coulis, M., Senecal, J., Devriendt-Renault, Y., Guerin, T., Parinet, J., & Pak, L. T. (2024). Fate of chlordecone in soil food webs in a banana agroecosystem in Martinique. *Environmental Pollution*, 362, 124874.
- Saint-Hilaire, M., Bertin, T., Inthavong, C., Lavison-Bompard, G., Guérin, T., Fournier, A., ... & Parinet, J. (2018). Validation of analytical methods for chlordecone and its metabolites in the urine and feces of ewes. *Journal of Chromatography B*, 1093, 66-76.
- Chevallier, M. L., Della-Negra, O., Chaussonnerie, S., Barbance, A., Muselet, D., Lagarde, F., ... & Saaidi, P. L. (2019). Natural chlordecone degradation revealed by numerous transformation products characterized in key French West Indies environmental compartments. *Environmental science & technology*, 53(11), 6133-6143.

Effets combinés des vers de terre et de la chlordécone sur les communautés microbiennes d'un sol antillais

Léa Bataille^{1,2,3*}, Céline Pelosi¹, Sandrine Christophe⁴, Andric Gelas⁴, Maïlie Saint-Hilaire⁴, Jérémie Béguet⁵, Elizaveta Klockenbring⁵, Aymé Spor⁵, Mathieu Coulis^{2,3*}

¹ EMMAH, INRAE, Avignon Université, 84000, Avignon, France

² CIRAD, UPR GECO, F-97285 Le Lamentin, Martinique, France

³ GECO, CIRAD, Université de Montpellier, Montpellier, France

⁴ Institut Pasteur de Guadeloupe, F-97193, Les Abymes, Guadeloupe, France

⁵ INRAE, UMR 1347 Agroécologie, 21065 Dijon, France

* lea.bataille@inrae.fr ; mathieu.coulis@cirad.fr

◆ Messages-clés :

- Les vers de terre n'ont pas d'effet significatif sur les activités enzymatiques liées au cycle du carbone tandis que la contamination des sols à la CLD a diminué leur expression dans les sols
- La contamination des sols à la CLD a potentiellement masqué l'effet stimulant des vers de terre sur les activités enzymatiques du cycle du carbone
- Dans les sols les moins et les plus contaminés, la présence des vers de terre a respectivement modulé la structure des communautés bactériennes de 34 et 41 %
- Dans les sols les moins et plus contaminés, une réduction de 8,5 % de la concentration en chlordécone a été mesurée en présence de vers de terre

Mots-clés : activités enzymatiques, diversité microbienne, nitisol, *Pontoscolex corethrurus*

Contexte et enjeux

Les vers de terre, ingénieurs de l'écosystème, modifient les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Ils favorisent la décomposition de la matière organique et la minéralisation de l'azote et du phosphore en modifiant la structure, l'abondance et les activités fonctionnelles des communautés microbiennes du sol. Ce réseau d'interaction entre microorganismes, vers de terre et processus liés aux cycles des nutriments peut être bousculé par l'utilisation de pesticides dans le sol. Les résultats diffèrent selon les pesticides considérés et peu d'études sont menées sur l'impact de la chlordécone (CLD, $C_{10}Cl_{10}O_2H_2$) sur les macro- et micro-organismes des sols. Dans les Antilles françaises, la pollution historique des sols par cet insecticide, utilisé entre 1972 et 1993 pour lutter contre le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*), persiste de nos jours. La CLD a un temps de résidence de 60 à 100 ans dans les nitisols, où elle est fortement biodisponible et va jusqu'à un demi-siècle dans d'autres sols antillais plus complexant pour ce contaminant qui se trouve piégé dans la structure fractale des agrégats des andosols (Cabidoche et al., 2009). Il a été montré que la CLD peut se bioaccumuler dans les tissus des vers de terre et influencer les communautés microbiennes en faisant émerger des taxons tolérants (Merlin et al., 2014). En revanche, il n'existe pas d'études sur l'impact de la CLD sur les activités enzymatiques des sols, ni même sur l'effet conjoint des vers de terre et de la CLD sur les communautés microbiennes. L'objectif de cette étude est de mesurer l'influence des vers de terre et de la chlordécone sur la composition et les activités des communautés microbiennes de nitisols antillais.

Matériel et méthodes

Une expérience en microcosmes a été menée dans des nitisols naturellement non contaminés et contaminés à trois niveaux, obtenus à partir d'une base de données publiques sur la contamination des sols martiniquais : faible ($39 \mu\text{g.kg}^{-1}$), moyenne ($130 \mu\text{g.kg}^{-1}$) et forte ($1222 \mu\text{g.kg}^{-1}$), avec et sans vers de terre. Les communautés bactériennes et fongiques des sols ont été mesurées par séquençage 16S et ITS, respectivement. Les activités enzymatiques du sol liées aux cycles de l'azote (arylamidase, n-acétyl-glucosaminidase NAG), du carbone (β -glucosidase, β -galactosidase) et du phosphore (phosphatase) ont également été mesurées par des protocoles standardisés par la plateforme Biochem-Env. Les concentrations en chlordécone et ses principaux produits de transformation (chlordécol, A1 et A2),

obtenues par une extraction QuEChERS et par dosage par LC-MS/MS ont été mesurées dans les sols secs et dans les tissus lyophilisés des vers de terre.

Résultats et discussion

De façon surprenante, les niveaux de contamination des nitisols mesurés dans les sols ne concordent pas avec ceux de la base de données publiques. Ainsi, le gradient effectivement mesuré s'étend de 192 à 316 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ MS. Cette différence pourrait s'expliquer par une homogénéisation des concentrations en CLD entre les parcelles par lixiviation de la molécule.

La présence de *P. corethrurus* a stimulé les activités enzymatiques du cycle de l'azote, avec une activité 400 % et 26 % plus importante respectivement de l'arylamidase et de la NAG comparé au témoin sans vers de terre. L'activité de la phosphatase a quant à elle diminué de 9 % avec les vers de terre. Aucun effet des vers de terre sur les activités enzymatiques liées au cycle du carbone n'a été relevé. En revanche, malgré un gradient de contamination en CLD plus restreint que celui attendu, les activités enzymatiques du cycle du carbone ont diminué avec la concentration en chlordécone. Ainsi, la CLD pourrait avoir neutralisé l'effet stimulant des vers de terre sur les activités enzymatiques du cycle du carbone. Ce résultat est en accord avec Jia et al. (2024) qui ont montré qu'une contamination au cadmium neutralise les effets des vers de terre sur les activités enzymatiques du cycle du carbone.

Nous avons également observé que les vers de terre avaient modifié 34 et 41 % des communautés bactériennes dans les sols qui étaient respectivement les moins et les plus contaminés (192 et 316 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ MS). Par ailleurs, une diminution de 8,5 % de la concentration en CLD dans ces mêmes sols ont été observés en présence de vers de terre par rapport au témoin sans vers de terre. Les concentrations en CLD et chlordécol mesurées dans les vers de terre ne compensent pas cette diminution de la concentration en CLD dans les sols. Ces résultats peuvent indiquer une biodégradation bactérienne stimulée par la présence de vers de terre. La CLD pourrait avoir été métabolisée en produits de transformation qui n'ont pas été mesurés dans cette étude ou à une concentration inférieure à la limite de quantification de la LC-MS/MS. Une étude approfondie des taxons microbiens séquencés dans ces sols, mise en parallèle avec les taxons connus pour dégrader la CLD, nous permettra de mettre en exergue une potentielle stimulation de la dégradation microbienne par les vers de terre.

Références bibliographiques

- Cabidoche, Y.-M., Achard, R., Cattani, P., Clermont-Dauphin, C., Massat, F., Sansoulet, J., 2009. Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residue. *Environmental Pollution* 157, 1697–1705. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.12.015>
- Jia, L., Liu, Q., Chen, S., Liu, K., Chen, Y., Motelica-Heino, M., Zhong, H., Zhang, M., Tibihenda, C., Lavelle, P., Dai, J., Zhang, C., 2024. Individual and combined effects of earthworms and *Sphingobacterium* sp. on soil organic C, N forms and enzyme activities in non-contaminated and Cd-contaminated soil. *European Journal of Soil Biology* 120, 103576. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103576>
- Merlin, C., Devers, M., Crouzet, O., Heraud, C., Steinberg, C., Mougin, C., Martin-Laurent, F., 2014. Characterization of chlordecone-tolerant fungal populations isolated from long-term polluted tropical volcanic soil in the French West Indies. *Environ Sci Pollut Res* 21, 4914–4927. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1971-8>

Approche *in silico* basée sur l'outil TyPol pour catégoriser les produits de transformation de la chlordécone selon leur devenir et leur impact environnemental

Gaëlle Nzussing¹, Laure Mamy¹, Fabienne Bessac², Sophie Hoyau², Eric Latrille³, Dominique Patureau³, Virginie Rossard³, Pierre-Loïc Saaidi⁴, Rémi Servien³, **Pierre Benoit**^{1*}

¹ Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS F-91120 Palaiseau

² Université de Toulouse, CNRS, UMR LCPQ, F-31062 Toulouse,

³ Université de Montpellier, INRAE, UR LBE, F-34293 Montpellier,

⁴ Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, Génomique Métabolique, Genoscope, Institut François Jacob, F-91000 Evry

* pierre.benoit@inrae.fr

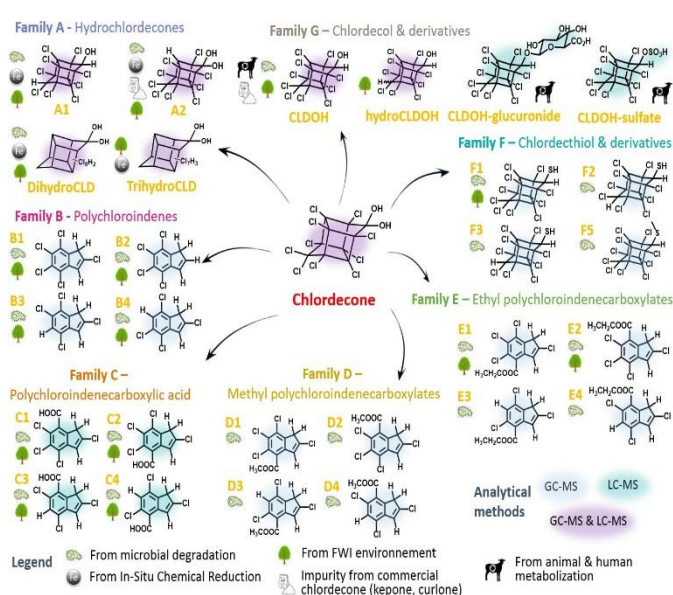
✦ Messages-clés :

- La détermination des structures chimiques des produits de transformation permet de calculer une série de descripteurs moléculaires pour chacun de ces composés
- L'outil de classification TyPol identifie les descripteurs moléculaires déterminant le devenir et/ou les effets écotoxicologiques des produits de transformation bien caractérisés afin d'estimer le comportement et les effets de ceux qui ne le sont pas.

Mots-clés : produits de transformation, descripteurs moléculaires, devenir, écotoxicité

Contexte et enjeux

Plusieurs travaux récents montrent que la chlordécone, en conditions de laboratoire, dans l'environnement, chez certains mammifères et chez l'homme, peut être transformée en divers composés chimiques que l'on nomme « produits de transformation ». Certains, comme les hydrochlordécones, ressemblent à la molécule-mère, d'autres présentent au contraire un squelette carboné très différent avec un noyau aromatique de type indène. Sur la base de leurs différences et similarités structurales, il est possible de les regrouper en sept familles (Figure 1) (Chevallier et al., 2019 ; Martin et al., 2023). Cependant, ces produits de transformation sont encore mal connus, que ce soit au niveau des transferts dans les aliments et l'environnement, ou au niveau de leurs effets sur la santé humaine et sur celle des écosystèmes (Legeay et al., 2018). Le projet CHLOR2NOU (Chlordecone and its transformation products: new tools and new knowledge - 2024-2027) vise à développer des nouveaux outils pour le suivi des produits de transformation et à acquérir de nouvelles connaissances sur leur devenir et impact environnemental ainsi que sur les risques associés.



Matériel et méthodes

L'outil TyPol (Typology of Pollutants) a été conçu dans l'objectif de classer les contaminants organiques en reliant leurs propriétés moléculaires à leur comportement dans l'environnement et à leurs effets écotoxicologiques (Servien et al., 2014). L'originalité de TyPol, au regard d'autres outils de prédiction de type QSAR, réside dans l'établissement de classes, construites *via* une analyse statistique des propriétés déduites de la prise en compte des descripteurs moléculaires et des paramètres comportementaux. Chaque classe regroupe par conséquent des composés ayant une relation « proche » entre paramètres et

descripteurs. Il est alors possible d'extrapoler des connaissances au sein d'une classe de composés à partir des résultats déjà obtenus sur quelques composés connus faisant partie de cette classe, comme cela a été fait pour évaluer les risques liés à des produits de transformation. Ceci a été réalisé dans un premier travail pour explorer le devenir environnemental de produits de transformation de la famille des hydrochlodécones (Benoit et al., 2017).

Nous présentons une nouvelle étude qui concerne les autres familles de produits de transformation mis en évidence depuis 10 ans. Nous avons calculé les descripteurs moléculaires pour les produits de transformation des différentes familles (de A à F) à partir de la connaissance de leurs structures chimiques (Figure 1). En lien avec les travaux expérimentaux en cours dans les autres tâches du projet CHLOR2NOU, un travail bibliographique a été réalisé pour obtenir des valeurs des paramètres environnementaux (devenir, effet) lorsqu'elles existent. Des outils prédictifs de type QSAR ont été utilisés de manière complémentaire afin d'obtenir des valeurs de ces paramètres pour les produits de transformation non étudiés expérimentalement. Au sein de la famille des cyclodiènes et d'autres organochlorés, différents composés ont été également sélectionnés ainsi que leurs principaux produits de transformation connus et référencés.

Résultats et discussion

Nous avons réalisé deux types de classification des produits de transformation de la chlordécone avec TyPol. La première analyse a consisté à utiliser les descripteurs moléculaires et les paramètres environnementaux et écotoxicologiques pour les composés pour lesquels ces données étaient disponibles. Cette analyse a permis, d'une part, d'obtenir différentes classes d'organochlorés et, d'autre part, d'analyser des relations statistiques entre certains descripteurs moléculaires et certaines caractéristiques comportementales ou écotoxicologiques. Une deuxième classification est ensuite réalisée uniquement avec les descripteurs moléculaires mais en incluant les produits de transformation pour lesquels nous ne disposons pas de données comportementales ou écotoxicologiques. Pour chaque classe, nous avons comparé les valeurs des descripteurs moléculaires des produits de transformation potentiels à celles d'autres organochlorés dont les paramètres environnementaux ou écotoxicologiques étaient connus. Ces comparaisons nous permettent de proposer des hypothèses sur le comportement attendu des produits de transformation de la chlordécone tout comme sur leurs effets potentiels sur la santé des écosystèmes en fonction de leur positionnement respectif dans les différentes classes obtenues.

Références bibliographiques

- Benoit P., Mamy L., Servien R., Li Z., Latrille E., Rossard V., Bessac F., Patureau D., Martin-Laurent F. 2017. *Science of The Total Environment*, 574, 781-795.
- Chevallier M. L., Della-Negra O., Chaussonnerie S., Barbance A., Muselet D., Lagarde F., ... & Saaidi, P. L. 2019. *Environmental Science & Technology*, 53, 6133-6143.
- Legeay S., Billat P-A., Clere N., Nesslany F., Bristeau S., Faure S. Mouvet C. 2018. *Environmental Science and Pollution Research*, 25,14313-14323.
- Martin D. E., Alnajjar P., Muselet D., Soligot-Hognon C., Kanso H., Pacaud S., ... & Feidt C. 2023. Efficient biodegradation of the recalcitrant organochlorine pesticide chlordacone under methanogenic conditions. *Science of The Total Environment*, 903, 166345.
- Servien R., Mamy L., Li Z., Rossard V., Latrille E., Bessac F., Patureau D., Benoit P. 2014. *Chemosphere*, 111, 613-622.

TRACE : Première acquisition de données sur les zones chlอร์ดэcone de Martinique et évaluation de « l'effet réserve »

Axelle Lefaucheur^{1,2,3*}, Philippe Lenfant², Raphaël Cornette³, Aude Brador¹

¹ Office Français de la Biodiversité, Parc naturel marin de Martinique

² CEFREM, Université Perpignan Via Domitia

³ ISYEB, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris

* axelle.lefaucheur@ofb.gouv.fr

◆ Messages-clés :

- **Les zones chlอร์ดэcone constituent des zones de protection de fait**, offrant une opportunité unique pour évaluer les effets de l'arrêt prolongé de la pêche sur la biodiversité marine et les ressources halieutiques, dans un contexte de pollution chronique.
- **L'approche couplant télémétrie acoustique et suivis vidéo 360° standardisés** permet une lecture fine et complémentaire des réponses écologiques, en reliant structure des peuplements, utilisation de l'espace et dynamiques de déplacement des espèces cibles.
- **Les résultats attendus visent à éclairer l'action publique**, en fournissant des connaissances objectivées sur l'effectivité écologique des zones chlอร์ดэcone et leur rôle potentiel dans une gestion adaptative des écosystèmes marins et des pêcheries locales.

Mots-clés : effet réserve, zone d'interdiction de pêche, dégradation des habitats récifaux, télémétrie acoustique, outils de captation d'images sous-marine 360/IA

Contexte et enjeux

Aux Antilles françaises la problématique de la chlอร์ดэcone est au cœur des débats : les pêcheries artisanales sont impactées par la fermeture d'une partie du littoral à la pêche, toutefois ces mesures interdisant les activités extractives dans ces zones depuis une dizaine d'années devraient avoir des conséquences positives sur la biodiversité marine.

Cette étude se propose de répondre à la question de l'effectivité des zones d'interdiction de pêche sur la ressource en évaluant l'effet réserve engendré par l'arrêt des activités extractives dans les zones côtières contaminées par la chlอร์ดэcone ou zones « chlอร์ดэcone ». Les objectifs sont (i) la réalisation d'un suivi in situ visant à comparer des indicateurs – Richesse / Diversité / Densité / Biomasse entre zones « chlอร์ดэcone » et zones non protégées en fonction des habitats ainsi que (ii) la caractérisation de la dynamique spatio-temporelle d'espèces cibles sur les zones « chlอร์ดэcone » – caractérisation du cycle de vie des espèces / relation habitat-espèces – et (iii) la mesure de l'effet débordement en périphérie des zones « chlอร์ดэcone » – quantification et qualification des types de mouvements ou effet spillover seront étudiés.

Ces travaux sur une durée de 3 ans – avec l'appui d'une thèse doctorale – permettront au Parc naturel marin de Martinique d'apporter des réponses aux politiques et acteurs locaux sur les zones « chlอร์ดэcone », d'acquérir de nouvelles données sur la problématique ainsi que sur les écosystèmes et espèces ciblées par les pêcheries locales.

Matériel et méthodes

Afin de répondre à ces objectifs, l'étude repose sur la mise en œuvre de deux protocoles complémentaires mobilisant des outils technologiques innovants. Le premier protocole s'appuie sur la télémétrie acoustique, avec le déploiement de deux réseaux de 36 récepteurs chacun au sein des deux plus vastes zones chlอร์ดэcone de Martinique (baie de Fort-de-France et façade nord-atlantique). Ce dispositif permet de caractériser l'utilisation spatiale des zones côtières par 26 espèces cibles des pêcheries locales. Au total, 132 individus ont été équipés d'émetteurs acoustiques, offrant un suivi fin de leurs déplacements, de leur fidélité aux habitats et des dynamiques spatio-temporelles associées, notamment en lien avec les effets de protection et de débordement.

Le second protocole repose sur le développement d'un workflow de suivi écologique standardisé par vidéos omnidirectionnelles (DOP 360°), couplé à des outils d'intelligence artificielle dédiés à l'analyse des peuplements ichthyologiques. Ce dispositif vise à homogénéiser les relevés et à renforcer la robustesse des indicateurs écologiques mesurés. Au total, 150 stations sont suivies sur trois sites : la baie de Fort-de-France et la baie de Trinité, situées en zones chlordécone, ainsi que la baie du Marin, utilisée comme zone témoin non contaminée. Ce protocole permet d'évaluer les variations de richesse spécifique, de densité et de biomasse entre zones, habitats et contextes de gestion.

Résultats et discussion

Les résultats attendus permettront d'évaluer l'effectivité des zones chlordécone en tant que zones de protection de fait, à travers l'analyse d'indicateurs clés des peuplements ichthyologiques (richesse spécifique, diversité, densité et biomasse), comparés entre zones contaminées et zone témoin. Les données issues de la télémétrie acoustique apporteront des informations inédites sur l'utilisation spatiale des zones côtières par les espèces cibles, en caractérisant leurs déplacements, leur fidélité aux habitats et les dynamiques spatio-temporelles associées.

La combinaison des suivis vidéo standardisés et de la télémétrie permettra également d'explorer l'existence et l'ampleur d'un effet de débordement en périphérie des zones chlordécone, en lien avec les mouvements individuels observés. Ces résultats contribueront à une meilleure compréhension des effets écologiques indirects liés à l'arrêt des activités extractives, sans préjuger de leur intensité ni de leur direction. À terme, ce travail vise à produire des éléments scientifiques objectivés pour éclairer les politiques publiques locales et accompagner une gestion adaptative des écosystèmes marins dans un contexte de pollution chronique.

Références bibliographiques

- Bacheler, N.M., Shertzer, K.W., 2014. Estimating relative abundance and species richness from video surveys of reef fishes. *FB* 113, 15–26. <https://doi.org/10.7755/FB.113.1.2>
- Barnett, A., Jaïne, F.R.A., Bierwagen, S.L., Lubitz, N., Abrantes, K., Heupel, M.R., Harcourt, R., Huveneers, C., Dwyer, R.G., Udyawer, V., Simpfendorfer, C.A., Miller, I.B., Scott-Holland, T., Kilpatrick, C.S., Williams, S.M., Smith, D., Dudgeon, C.L., Hoey, A.S., Fitzpatrick, R., Osborne, F.E., Smoothey, A.F., Butcher, P.A., Sheaves, M., Fisher, E.E., Svaikauskas, M., Ellis, M., Kanno, S., Cresswell, B.J., Flint, N., Armstrong, A.O., Townsend, K.A., Mitchell, J.D., Campbell, M., Peddemors, V.M., Gustafson, J.A., Currey-Randall, L.M., 2024. From little things big things grow: enhancement of an acoustic telemetry network to monitor broad-scale movements of marine species along Australia's east coast. *Mov Ecol* 12, 31. <https://doi.org/10.1186/s40462-024-00468-8>
- Claudet, J., Osenberg, C.W., Benedetti-Cecchi, L., Domenici, P., García-Charton, J., Pérez-Ruzafa, Á., Badalamenti, F., Bayle-Sempere, J., Brito, A., Bulleri, F., Culioli, J., Dimech, M., Falcón, J.M., Guala, I., Milazzo, M., Sánchez-Meca, J., Somerfield, P.J., Stobart, B., Vandeperre, F., Valle, C., Planes, S., 2008. Marine reserves: size and age do matter. *Ecology Letters* 11, 481–489. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01166.x>
- Sala, E., Mayorga, J., Bradley, D., Cabral, R.B., Atwood, T.B., Auber, A., Cheung, W., Costello, C., Ferretti, F., Friedlander, A.M., Gaines, S.D., Garilao, C., Goodell, W., Halpern, B.S., Hinson, A., Kaschner, K., Kesner-Reyes, K., Leprieux, F., McGowan, J., Morgan, L.E., Mouillot, D., Palacios-Abrantes, J., Possingham, H.P., Rechberger, K.D., Worm, B., Lubchenco, J., 2021. Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate. *Nature* 592, 397–402. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03371-z>
- University of California, Santa Cruz, Carr, M., White, J.W., Saarman, E., Lubchenco, J., Milligan, K., 2019. Marine Protected Areas Exemplify the Evolution of Science and Policy. *Oceanog* 32, 94–103. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2019.315>

PROJET CHLORIMAR (CHLORDécone et Impacts sur les Milieux Aquatiques et Ressources halieutiques)

Lilia Leconte^{1*}, Heloise Mathieu¹

¹ Office Français de la Biodiversité, Parc naturel marin de Martinique

* lilia.leconte@ofb.gouv.fr

♦ Messages-clés :

- Impact du chlordécone sur la physiologie des poissons
- Projet à venir

Mots-clés : *écotoxicologie, chlordécone, poissons, contamination*

Contexte et enjeux

Le projet CHLORIMAR vise à évaluer les niveaux de contamination au chlordécone et leurs effets sur la physiologie de poissons évoluant dans une zone littorale parmi les plus impactées par ce pesticide. La contamination historique du littoral par le chlordécone a profondément affecté les écosystèmes marins côtiers, en particulier sur la façade atlantique et en baie de Fort-de-France.

Cette pollution a entraîné des conséquences majeures sur les activités du secteur de la pêche. Les restrictions sanitaires appliquées aux produits de la pêche issus des zones contaminées ont conduit à la fermeture de vastes secteurs à l'exploitation halieutique, modifiant durablement les usages et la dynamique socio-économique du littoral.

Dans les zones où les prélèvements de poissons sont désormais interdits, une augmentation de la biomasse des espèces halieutiques aurait pu être attendue du fait de la réduction de la pression de pêche. Toutefois, cette hypothèse reste à vérifier, car d'autres facteurs peuvent limiter le rétablissement des populations (dégradation des habitats, pollution, dérangement...).

L'exposition chronique au chlordécone et à d'autres contaminants est susceptible d'affecter la croissance, la reproduction et plus largement la physiologie des espèces, notamment dans les zones de nurserie telles que les mangroves.

Le projet CHLORIMAR s'inscrit ainsi dans une démarche visant à mieux comprendre les interactions entre contamination chimique et fonctionnement biologique des espèces marines, afin d'évaluer les impacts écologiques à long terme et d'éclairer les stratégies de gestion et de restauration des écosystèmes littoraux.

Matériel et méthodes

Le projet CHLORIMAR repose sur une approche *in situ*, combinant l'étude de la contamination environnementale au chlordécone et l'évaluation de ses effets physiologiques et endocriniens chez des poissons.

Sites d'étude

Le site principal d'étude est la baie du Galion, un secteur littoral fortement contaminé par le chlordécone, du fait de sa position en aval d'un bassin versant historiquement dominé par les cultures de banane. Les prélèvements seront réalisés en zone proche côtière, notamment en mangrove, habitat de nurserie particulièrement exposé aux apports terrigènes. Deux sites témoins potentiels sont envisagés :

- La baie du Marin, faiblement contaminée au chlordécone mais exposée à d'autres polluants, permettant de discriminer l'effet spécifique du chlordécone de l'effet cocktail ;

- La Réserve marine du Prêcheur, zone peu anthropisée présentant des concentrations très faibles voire indétectables en chlordécone, servant de référence écologique.

Espèces étudiées

L'étude cible principalement des espèces inféodées aux zones de fond de baie, capables de refléter la contamination locale. Les espèces pressenties sont la blanche cendrée (*Gerres cinereus*) et le mulot (*Mugil curema*).

En complément, le poisson-lion (*Pterois volitans*), espèce invasive sédentaire et prédateur de haut niveau trophique, sera utilisée comme espèce sentinelle pour une étude expérimentale sur la cinétique de contamination.

Stratégie d'échantillonnage

Un effectif cible d'environ 15 individus par site est retenu, suffisant pour détecter des tendances écotoxicologiques malgré la variabilité interindividuelle. En raison de la faible abondance du poisson-lion dans la baie du Galion, les individus seront capturés dans une zone gisement puis encagés pendant 10 à 15 jours à l'embouchure de la rivière du Galion, afin de garantir une exposition aux concentrations environnementales par contact avec l'eau et par l'alimentation.

Analyses biologiques et physiologiques

Des mesures biométriques (longueur, poids total et des organes) seront réalisées, suivies du prélèvement de différents tissus (foie, gonades, branchies, otolithes). Les gonades et branchies feront l'objet d'analyses histologiques pour détecter d'éventuelles altérations tissulaires.

Analyses endocriniennes et reproductrices

Des prélèvements sanguins permettront d'analyser les principaux marqueurs hormonaux (testostérone, 17 β -estradiol, 11-KT, FSH, LH, TSH, vitellogénine). L'indice gonado-somatique (IGS) sera calculé afin d'évaluer l'état reproducteur et d'identifier d'éventuelles perturbations liées à la contamination.

Etude exploratoire des pesticides en environnement intérieur tropical : retour d'expérience du projet PestiMar (Martinique)

Jean Guimberteau^{1*}, Carole Boullanger¹, Barbara Le Bot², Nathalie Bonvallot², Gaelle Raffy², Luc Multigner², Philippe Glorennec², Emilie Surget², Olivier Ramalho³

¹ Madinair

² Univ Rennes, Inserm, EHESP, Irset (Institut de recherche en santé, environnement et travail) - UMR_S 1085, F-35000, Rennes, France

³ CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment)

* jean.guimberteau@madinair.fr

◆ Messages-clés :

- Première étude exploratoire des pesticides dans l'air et les poussières des environnements intérieurs des DROM.
- Présence généralisée de pesticides à usage agricole dans les logements et écoles martiniquais.
- Première quantification de la chlordécone dans les poussières intérieures (entre 51 et 247 ng/g), grâce au développement d'une méthode analytique dédiée, confirmant la persistance de ce polluant historique, principalement en zones rurales (Dufresne et al., 2025).
- Les niveaux les plus élevés observés dans les poussières concernent principalement des substances d'usage actuel (pyréthrinoïdes, fongicides, biocides).

Mots-clés : exposition, air intérieur, poussières, chlordécone, DROM

Contexte et enjeux

Les données relatives aux pesticides en environnement intérieur sont quasi inexistantes dans les départements et régions d'outre-mer (DROM), malgré des usages agricoles et domestiques importants ainsi que la persistance de polluants historiques tels que la chlordécone. Dans les Antilles françaises, les spécificités climatiques et architecturales (forte ventilation naturelle, bâtiments ouverts sur l'extérieur) sont susceptibles d'influencer le transfert de contaminants entre les environnements extérieurs et intérieurs.

Le projet PestiMar constitue la première étude exploratoire visant à caractériser les pesticides dans l'air intérieur et les poussières déposées au sol en Martinique. Bien que la chlordécone soit un marqueur majeur de la contamination historique des Antilles, l'étude vise également à documenter la présence d'autres pesticides susceptibles de contribuer à l'exposition des populations en environnement intérieur.

Matériel et méthodes

Une sélection de substances a été réalisée à partir des données de ventes de produits phytopharmaceutiques (BNVD), des résultats de surveillance environnementale (air et eau) et de critères toxicologiques. Les pesticides présents dans l'air intérieur (phases gazeuse et particulaire) et les poussières sédimentées ont été mesurés pendant un an (novembre 2022 – novembre 2023) dans six logements et deux écoles répartis entre zones urbaines et rurales.

Les analyses ont été réalisées par GC-MS/MS et LC-MS/MS. En l'absence de méthode disponible, une filière analytique spécifique a été développée pour permettre la quantification de la chlordécone dans les poussières intérieures. La recherche de la chlordécone a été limitée au compartiment poussières sédimentées.

Résultats et discussion

Les résultats mettent en évidence une présence généralisée de pesticides d'origine agricole et domestique dans les environnements intérieurs. Dans l'air intérieur, la pendiméthaline, le lindane et le dichloran figurent parmi les substances les plus fréquemment détectées. La présence récurrente de composés

interdits ou fortement restreints, tels que le lindane, témoigne de la persistance de certains polluants historiques.

Les poussières apparaissent comme une matrice à prendre en compte pour documenter l'exposition aux pesticides en environnement intérieur. Les concentrations les plus élevées concernent principalement les pyréthrinoides (perméthrine, cyperméthrine) ainsi que plusieurs fongicides et biocides. Ces substances, largement utilisées dans les environnements domestiques ou agricoles, sont détectées dans la majorité des échantillons.

La chlordécone a été quantifiée dans 40% des prélèvements de poussières intérieures avec des concentrations comprises entre 51 et 247 ng/g. Les niveaux les plus élevés ont été observés dans les sites ruraux, confirmant le transfert de particules issues des sols contaminés vers les environnements intérieurs. Toutefois, les estimations d'exposition indiquent que l'ingestion de poussières contribue faiblement à l'exposition globale à la chlordécone et demeure très inférieure aux expositions historiquement rapportées par voie alimentaire (Dufresne et al., 2025). Les résultats montrent par ailleurs que d'autres pesticides actuellement utilisés sont beaucoup plus abondants dans les poussières.

Cette étude met ainsi en évidence que la contamination des environnements intérieurs martiniquais résulte à la fois de l'héritage de pollutions historiques et de l'usage actuel de nombreux pesticides et biocides. Elle souligne l'intérêt d'une approche globale de surveillance, intégrant la chlordécone mais également les autres substances susceptibles de contribuer à l'exposition des populations. Ces résultats plaident pour une meilleure prise en compte des spécificités ultramarines et pour l'intégration des DROM dans les futures stratégies nationales de surveillance des pesticides en environnement intérieur.

Références bibliographiques

- Dufresne et al., 2025. Determination of chlordecone in indoor dust by GC/MS/MS and associated human exposure in the French West Indies – Journal of Hazardous Materials. <https://hal.science/hal-05104693>
- ANSES. 2020. Campagne nationale exploratoire des pesticides dans l'air ambiant : Premières interprétations sanitaires. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2020SA0030Ra.pdf>
- ANSES. 2021. Etude Pesti'home Départements et régions d'outre-mer - Guadeloupe - Martinique - La Réunion- Rapport d'étude scientifique. [En ligne] 2021. <https://www.anses.fr/fr/system/files/2019SA0163-Ra.pdf>.
- LCSQA. 2019. Résultats de la campagne nationale exploratoire de mesure des résidus de pesticides dans l'air ambiant (2018-2019). [En ligne] 2019. <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/resultats-de-la-campagne-nationale-exploratoire-de-mesure-des-residus-de-pesticides-dans>.
- Madininair. 2013. Evaluation des concentrations des produits phytosanitaires dans l'air ambiant. [En ligne] Juin 2013. https://www.madininair.fr/IMG/pdf/evaluation_phytosanitaire_air_ambiant_vf.pdf.

Parcours d'un échantillon biologique de Kannari 2 : enjeux logistiques et qualité analytique

Cécile Martias¹*, Marie Pecheux¹, Abdessattar Saoudi¹, Marc Ruello¹, Corinne Delamaire¹, Pascal Jehanin¹, Jean-Baptiste Richard¹, Clémentine Dereumeaux¹, Vanessa Cornely¹, Jacques Rosine¹

¹ Santé publique France

* cecile.martias@santepubliquefrance.fr

◆ Messages-clés :

- Une chaîne logistique maîtrisée jusqu'au stockage long terme à -80°C
- 29 678 aliquots obtenus sur 37 336 attendus
- Un encadrement analytique rigoureux garantissant la fiabilité des résultats
- Une articulation essentielle entre organisation logistique et exigence analytique

Mots-clés : *enjeux logistiques, qualité analytique, contexte insulaire, échantillons biologiques*

Contexte et enjeux

L'exposition chronique au chlordécone constitue un enjeu majeur de santé publique aux Antilles françaises, en raison de la persistance environnementale et de l'accumulation du pesticide dans les chaînes alimentaires. Les résultats de l'étude Kannari 2013–2014 ont mis en évidence une imprégnation généralisée de la population, avec plus de 90 % des individus présentant des concentrations détectables [1,2].

Dans ce contexte, l'étude de biosurveillance Kannari 2 vise à mettre à jour les niveaux d'imprégnation et d'améliorer la connaissance de l'exposition de la population antillaise au chlordécone et à d'autres polluants de l'environnement. L'étude a inclus le recueil d'échantillons biologiques (sang et urines) en population générale martiniquaise et guadeloupéenne âgée de 6 ans et plus.

La qualité et la fiabilité des résultats analytiques dépendent de manière critique de la maîtrise des étapes pré-analytiques, incluant le prélèvement, le transport, le stockage et la traçabilité des échantillons biologiques.

Les contraintes spécifiques du contexte insulaire (dispersion géographique, dépendance aux transports aériens, maintien de la chaîne du froid) représentent un défi majeur susceptible d'altérer l'intégrité des échantillons et, par conséquent, la validité des résultats analytiques [3,4].

L'enjeu principal est donc d'assurer la qualité des résultats biologiques, de la collecte des échantillons jusqu'au rendu des résultats.

Matériel et méthodes

L'étude repose sur la collecte d'échantillons biologiques (sang et urines) auprès de participants âgés de 6 et plus résidant en Guadeloupe et en Martinique. Les prélèvements sont réalisés à domicile par des infirmiers libéraux, dans un délai de quelques jours après la phase de recrutement. Ils incluent la collecte des premières urines du matin congelées de la veille et un prélèvement sanguin dont le volume est adapté au poids du participant.

Le parcours des échantillons avec un suivi de la température comporte plusieurs étapes critiques :

- conditionnement immédiat sous température contrôlée (<15°C)
- acheminement vers les laboratoires de ville pour un traitement pré-analytique et stockage à -20°C
- transport régional vers un centre de ressources biologiques (CRB) assurant l'aliquotage et un stockage à -80°C,
- expédition par transport aérien à -80°C vers des laboratoires d'analyse en France hexagonale et au Canada

Les analyses sont réalisées selon des méthodes de référence (GC-MS/MS, LC-MS/MS, ICP- MS) adaptées à la détection de contaminants à faibles concentrations. Un dispositif complet de contrôle métrologique est mis en œuvre mensuellement, incluant :

- des contrôles qualité internes (CQI)
- l'application des règles de Westgard
- la vérification des incertitudes des résultats

Ainsi des protocoles stricts de conditionnement, d'équipement, de réfrigération et de traçabilité ont été mis en œuvre du domicile du participant jusqu'aux laboratoires d'analyse. De plus, un contrôle métrologique rigoureux et adapté à chaque biomarqueur a été appliqué afin de garantir la qualité analytique des résultats.

Résultats et discussion

Au total, 2 872 participants ont été recrutés, permettant la collecte de 29 678 échantillons biologiques. Environ 12 % des échantillons sont manquants ou inexploitable, principalement en raison de :

- Peur des aiguilles/difficultés de prélèvements de sang (15 participants)
- Prélèvements incomplets (208 participants)
- Volume insuffisant d'urine pour le nombre d'aliqots nécessaires
- Incidents logistiques : défauts d'étiquetage, ruptures de la chaîne du froid (25 participants)

Ces résultats soulignent la complexité des études de biosurveillance en contexte insulaire, où les contraintes logistiques accroissent le risque de pertes d'échantillons et imposent une organisation rigoureuse. En effet, la littérature montre que les conditions pré-analytiques influencent fortement la qualité des mesures, en particulier pour les contaminants à faibles concentrations [3]. Le recours à des centres de ressources biologiques avec stockage à -80°C et à des systèmes de traçabilité robustes constitue ainsi un élément clé garantissant la fiabilité des données [4].

Dans l'étude Kannari 2, l'adaptation des protocoles aux contraintes du terrain ainsi que l'équipement des acteurs ont permis de maintenir des conditions de conservation adaptées. La qualité analytique a reposé sur la sélection de laboratoires performants et sur des contrôles stricts (blancs, étalonnage, LOD/LOQ), permettant de valider plus de 12 000 résultats.

Cette approche méthodologique permet d'une part d'amplifier la fiabilité des données et souligne d'autre part l'importance d'un encadrement logistique et analytique rigoureux dans les études de biosurveillance en environnement contraint.

Références bibliographiques

- [1] Dereumeaux C, Volatier JL, Guldner L, Saoudi A, Pecheux M, Rivière G, et al. Chlordécone aux Antilles : de la caractérisation de la contamination alimentaire à l'imprégnation des individus. Résultats de l'étude Kannari 2013-2014. Bull Epidemiol Hebd. 2020 ;(18-19):370-8
- [2] Dereumeaux C, Saoudi A, Pecheux M, Berat B, Imprégnation de la population antillaise par la chlordécone et certains composés organochlorés en 2013/2014. Étude Kannari. Saint- Maurice : Santé publique France : 2018 6 p.
- [3] McClain, K. M., Moore, S. C., Sampson, J. N., Henderson, T. R., Gebauer, S. K., Newman, J. W., Ross, S., Pedersen, T. L., Baer, D. J., & Zanetti, K. A. (2021). Preanalytical sample handling conditions and their effects on the human serum metabolome in epidemiologic studies. American Journal of Epidemiology, 190(3), 459–467.
- [4] Tadić, Đ., Lima, A. P. de, & Ricci, M. (2025). Quality assurance and quality control for human biomonitoring data—focus on matrix reference materials. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 417, 3513–3528.

Communiquer la prévention chlordécone entre registres médico-techniques, expériences vécues et matérialité des supports : segmentation des publics professionnels et rôle des espaces intermédiaires

Aurore Fourcot¹, Pierre Mignot^{2*}

¹ Cirad, DRAG Martinique, Le Lamentin, Martinique

² Université de Toulouse, LERASS

* pierre.mignot@iut-tlse3.fr

♦ Messages-clés :

- La variable « type de profession médicale » est nécessaire mais insuffisante : elle est systématiquement croisée par trois variables de second niveau (positionnement institutionnel, rapport à l'incertitude scientifique, trajectoire générationnelle).
- Six profils-types de rapport à la prévention transcendent les frontières disciplinaires : du militant-environnementaliste au sceptique rationnel, en passant par l'épistémiquement bloqué et le paralysé-révolté.
- Aucun des 27 enquêtés n'a reçu de formation initiale ou continue sur la chlordécone : le savoir préventif est entièrement auto-construit par des voies non institutionnelles (associations, presse locale, réseaux militants).
- La défiance envers les messages institutionnels constitue une impasse communicationnelle structurelle : le message vient du même système que le poison. Les enjeux de prévention relèvent moins d'un déficit d'information que d'une crise de légitimité du canal émetteur.

Mots-clés : *prévention, hétérogénéité des discours, professionnels de santé, chlordécone, imaginaires professionnels, communication préventive, ACO, RISP*

Contexte et enjeux

La contamination par la chlordécone constitue une crise sanitaire et environnementale de longue durée en Martinique et en Guadeloupe, marquée par la persistance du polluant dans les sols (rémanence estimée à 700 ans), la chronicité de l'exposition et une défiance institutionnelle durable construite sur l'histoire même de la contamination. Dans ce contexte, la prévention est devenue un pilier de l'action publique, mais se heurte à des difficultés profondes d'appropriation par les professionnels de santé comme par la population. Cette communication propose d'analyser l'hétérogénéité des représentations du travail de prévention chlordécone chez les professionnels de santé martiniquais, en interrogeant dans quelle mesure le type de profession médicale — et, au-delà, d'autres variables structurantes — détermine ces représentations et les pratiques qui en découlent. Elle s'inscrit dans un cadre théorique SIC articulant l'Approche Communicationnelle des Organisations (Bouillon), la sociologie du risque (Peretti-Watel, Beck), la clinique de l'activité (Clot) et la posture de la Recherche Intervention en Santé des Populations (RISP).

Matériel et méthodes

Elle mobilise une approche qualitative en sciences de l'information et de la communication. Le corpus analysé dans cette communication repose sur :

- 27 entretiens semi-directifs avec des professionnels de santé réalisés en Martinique : médecins généralistes (7), pédiatres (4), nutritionnistes/diét. (4), infirmières libérales (3), sages-femmes (2), gynécologue, gastro-entérologue, endocrinologue, gériatre ;
- une analyse thématique transversale du corpus conduite selon une double entrée : par spécialité médicale (hétérogénéité inter-professionnelle) et par variables positionnelles (hétérogénéité intra-professionnelle).

Une attention particulière est portée aux variables transversales qui croisent la variable « spécialité » : le positionnement institutionnel, le rapport à l'incertitude scientifique et la trajectoire générationnelle.

L'analyse révèle une double hétérogénéité. D'une part, une hétérogénéité inter-professionnelle : la spécialité détermine un premier filtre — l'objet clinique de préoccupation. Les pédiatres raisonnent en termes de perturbateurs endocriniens et de neurodéveloppement ; les infirmières libérales en termes de conditions de vie au domicile et de pratiques alimentaires effectives ; les nutritionnistes en termes de précarité et d'ETP écologique ; les sages-femmes en termes de fenêtre périnatale et de transmission in utero. D'autre part, une hétérogénéité intra-professionnelle, bien plus structurante : à spécialité identique, les discours divergent profondément, conduisant à l'identification de six profils-types transversaux aux spécialités : (1) le militant-environnementaliste ; (2) l'intégré-pragmatique ; (3) le passif non-mobilisé ; (4) le sceptique rationnel ; (5) l'épistémiquement bloqué ; (6) le paralysé-révolté. Par ailleurs, sept tensions structurantes traversent l'ensemble du corpus, indépendamment de la spécialité : temps long/chronique vs temps court/hospitalier ; savoir unanime vs agir fragmenté ; information disponible vs conditions structurelles absentes ; individuel vs systémique ; confiance vs défiance envers le canal institutionnel ; formation vs improvisation (0/27 enquêtés formés initialement) ; débat politique vs enjeux sanitaires. Ces résultats conduisent à trois implications théoriques : (i) la prévention chlอร์ดэcone constitue un travail prescrit sans outillage au sens de Clot (2008), dont les ressources sont entièrement autoprescrites ; (ii) la défiance envers les messages institutionnels forme une impasse communicationnelle structurelle — le message vient du même système que le poison, le canal est bloqué à sa source (Peretti-Watel, Beck) ; (iii) un recadrage analytique s'impose, passant des « pratiques à risque » stigmatisant l'individu vers la vulnérabilité structurelle (absence de traçabilité, précarité alimentaire), central pour la refonte des dispositifs de communication préventive dans la perspective RISP.

Références bibliographiques

- Beck U. (1992). *Risk Society: Towards a New Modernity*. London: Sage.
- Clot Y. (2008). *Travail et pouvoir d'agir*. Paris : PUF.
- Bouillon, J. L., & Loneux, C. (2021). De la constitution communicationnelle des organisations à l'organisation du social: enjeux et perspectives pour les ACO et la CCO. *Communication et organisation*. *Revue scientifique francophone en Communication organisationnelle*, (59), 27-43.
- Mignot, P., & Omrane, D. (2023). Médecins généralistes et préventions des cancers, quels processus et pratiques info-communicationnels?. *Communication & Organisation*, 63(1), 141-155.
- Peretti-Watel P. & Moatti J.-P. (2009). *Le principe de prévention*. Paris : Seuil/La République des Idées.

Connaissances, attitudes et pratiques de la population guadeloupéenne face à la contamination des sols par le chlordécone

Christelle Céleste^{1*}, Christina GOUDOU¹, Audrey Bonine¹, Frank Assogba², Hector Juliard², Cécile Martias², Marc Ruello², Saoudi Abdessattar³, Vanessa Cornely², Jacques Rosine², Corinne-Valérie Pioche¹

¹ Observatoire Régional de la Santé de Guadeloupe

² Santé Publique France – Cellule Antilles

³ Santé Publique France

* cc.orsag@orange.fr

♦ Messages-clés :

- **Connaissances : un niveau d'information globalement acquis notamment sur les effets sanitaires et les voies d'exposition**
- **Attitudes et perception du risque : une forte sensibilité au risque, mais un sentiment d'information insuffisant**
- **Pratiques : des changements de comportements qui restent encore limités**
- **Prévention et communication :** Importance de diffuser des messages clairs, précis et répétés dans le temps afin d'améliorer la sensibilisation et de favoriser l'appropriation des recommandations par la population.

Mots-clés : chlordécone, connaissances, attitudes et pratiques (CAP), perception du risque, KANNARI, Guadeloupe

Contexte et enjeux

Le chlordécone est un pesticide organochloré utilisé massivement dans les bananeraies des Antilles françaises jusqu'en 1993. Sa forte persistance dans l'environnement a entraîné une contamination durable des sols, des eaux et de la chaîne alimentaire, constituant encore aujourd'hui un enjeu majeur de santé publique, environnementale et sociale, suscitant interrogations, inquiétudes et controverses au sein de la population. Dans ce contexte, l'étude des connaissances, attitudes et pratiques (CAP) de la population vis-à-vis de la contamination par le chlordécone apparaît essentielle pour mieux comprendre la perception du risque et les réponses individuelles et collectives mises en œuvre.

Matériel et méthodes

L'étude KANNARI2, conduite par Santé publique France et ses partenaires en Guadeloupe et en Martinique, vise à analyser l'évolution ainsi que les déterminants de l'imprégnation de la population antillaise au chlordécone et à d'autres polluants. L'enquête a été déclinée en trois visites par participant : une visite recrutement par un enquêteur ; une visite par une infirmière avec questionnaire santé, mesures et prélèvements biologiques ; une troisième visite par l'enquêteur au cours de laquelle un volet spécifique CAP a été intégré afin d'évaluer les connaissances, attitudes et pratiques des habitants concernant ce pesticide. La période d'enquête s'est étalée de janvier à juillet 2024. L'échantillonnage de l'enquête Kannari 2 repose sur un plan de sondage stratifié à un degré. Un redressement de l'échantillon a été réalisé. En Guadeloupe, près de 1 200 adultes ont participé à ce volet, réalisé en face-à-face par des enquêteurs.

Objectifs

Les résultats de l'analyse du volet CAP permettront d'apprécier le niveau de connaissances de la population concernant les effets du chlordécone sur leur santé, les voies d'exposition et les aliments susceptibles d'être contaminés.

Ils apporteront également des éléments sur les attitudes face au risque, la perception de la contamination des sols et de l'alimentation, ainsi que sur la compréhension et l'appropriation des messages de prévention diffusés par les autorités sanitaires.

Enfin, ils permettront d'identifier les pratiques mises en œuvre pour limiter l'exposition, l'évolution des habitudes alimentaires, le recours au contrôle des jardins et des sols, ainsi que les comportements liés à l'autoconsommation.

Résultats et discussion

Au total, 1 181 personnes ont répondu au volet CAP de l'enquête Kannari 2 en Guadeloupe en 2024.

Connaissances

Parmi les répondants, 68% estiment que le chlordécone a un effet sur le cancer de la prostate, 60% sur d'autres cancers, 14% sur la reproduction. Seuls 5% estiment que le pesticide a un effet sur les troubles du neurodéveloppement.

En ce qui concerne les voies d'exposition connues, plus de 9 répondants sur 10 pensent que le chlordécone se retrouve dans les sols, les rivières ou cours d'eau, l'eau du robinet et dans les aliments. Moins d'un tiers des enquêtés pensent que le chlordécone peut se retrouver dans l'air.

Parmi les répondants, 32% connaissent le programme de prévention JAFA et 12% celui du TITIRI.

Attitudes

Plus de 9 répondants sur 10 considèrent que le chlordécone présente un risque plutôt, voire très élevé pour la santé des populations. Par ailleurs, 80% estiment que le pesticide a un effet sur leur propre santé.

Près de 7 personnes sur 10 déclarent avoir confiance dans les études scientifiques qui sont réalisées sur la molécule. Plus de la moitié (54%) des répondants sont satisfaits des informations reçues. En revanche, un peu moins (48%) se considèrent bien informés sur le chlordécone.

Parmi les répondants possédant un jardin ou un espace cultivable, 22% pensent que leur sol est contaminé et 7% ont réalisé un prélèvement de leur sol.

Pratiques

Près de 4 personnes sur 10 déclarent avoir modifié leurs habitudes depuis qu'elles ont entendu parler du chlordécone. Parmi elles, la majorité indique que ces changements ont été effectués il y a moins de 10 ans. Les principales modifications reposent sur le fait d'éviter de boire l'eau du robinet (60%), de laver soigneusement les fruits et légumes (40%), d'éplucher grassement tous les légumes (28%). Par ailleurs, 23% des répondants indiquent consommer moins de certains aliments locaux et 4% déclarent ne plus en consommer du tout.

Parmi les répondants n'ayant pas changé leurs habitudes, près d'un quart (24%) ont estimé que changer ne servirait à rien, 22% ne savent pas quelles habitudes changer, deux personnes sur 10 préfèrent ne pas y penser et 12% déclarent que changer leurs habitudes leur coûterait trop cher.

Discussion

Le module CAP permet de mettre en évidence que certaines connaissances sur le chlordécone semblent globalement bien assimilées par la population, notamment sur les principaux effets sanitaires et sur les voies d'exposition du chlordécone. Les répondants se déclarent satisfaits des informations reçues, mais estiment toutefois ne pas être suffisamment informés. Le changement des habitudes reste encore difficile à mettre en œuvre, malgré une prise de conscience ancienne du risque. En effet, les données de 2008 de l'INPES (1) montraient déjà que près de 9 guadeloupéens sur 10 estimaient que l'utilisation du pesticide produisait des effets importants sur la santé et 4 sur 10 déclaraient avoir changé leurs habitudes. Ces

éléments soulignent la difficulté de transformer une connaissance du risque en modifications durables des comportements.

Toutefois, on observe une augmentation de la confiance accordée aux études scientifiques menées sur la molécule. Ces résultats soulignent la nécessité de poursuivre les efforts de diffusion et de vulgarisation des informations scientifiques auprès de la population, afin de soutenir une meilleure compréhension des enjeux sanitaires. L'ouverture du portail chlordécone-info en 2025 offre ainsi des perspectives d'amélioration des connaissances et d'informations de la population.

Conclusion

L'étude KANNARI2 et son volet CAP proposent une approche complémentaire permettant de mieux comprendre l'impact du chlordécone sur la population guadeloupéenne. Si le niveau d'information et de connaissances de la population s'est amélioré, il reste incomplet. Les personnes interrogées apparaissent particulièrement sensibles au risque, mais le changement des comportements reste encore limité. La valorisation des informations sur la molécule doit se poursuivre et se renforcer afin d'améliorer la compréhension des enjeux sanitaires liés au chlordécone et de favoriser leur appropriation par la population.

Références bibliographiques

Girard Delphine, Etude sur les connaissances, les perceptions et les comportements des populations de Martinique et de Guadeloupe vis-à-vis de la chlordécone, Inpes, avril 2009

Dereumeaux C, Volatier JL, Guldner L, Saoudi A, Pecheux M, Rivière G, et al. Chlordécone aux Antilles : de la caractérisation de la contamination alimentaire à l'imprégnation des individus. Résultats de l'étude Kannari 2013-2014. Bull Epidemiol Hebd.2020 ; (18-19) : 370-8

Catherine PROCACCIA, Rapport sur l'impact de l'utilisation de la chlordécone aux Antilles françaises, Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, février 2022

Castetbon K, Ramalli L, Vaidie A, Yacou C, Merle S, Ducros V, et al. Consommations alimentaires et biomarqueurs nutritionnels chez les adultes de 16 ans et plus en Guadeloupe et Martinique. Enquête Kannari 2013-2014. Bull Epidemiol Hebd. 2016 ; (4): 52-62.

Former les enseignants en territoire contaminé : six années d'itérations d'un dispositif de formation à la problématique de la chlordécone en Martinique

Séverine Ely-Marius^{1,2*}, Lydie Brusset¹, Myriam Charlosse¹, Yannick Exilie¹, Inna Clavier¹, Ludovic Zozime¹

¹ Région académique de Martinique – Groupe de réflexion de formateurs interdisciplinaires (GRFI)– Actions éducatives chlordécone

² Université des Antilles – INSPE Martinique

* severine.ely-marius@univ-antilles.fr

♦ Messages-clés :

- La problématique de la chlordécone constitue une question socio-environnementale vive, nécessitant une approche éducative interdisciplinaire et contextualisée.
- Le dispositif proposé par le GRFI a évolué d'une logique d'information scientifique vers une logique d'accompagnement professionnel et de didactisation.
- Ce GRFI chlordécone apparaît comme un collectif d'enseignants-formateurs engagé dans la circulation, la transposition et l'opérationnalisation de savoirs issus de la recherche dans les pratiques éducatives.
- L'ingénierie de formation mise en œuvre cherche à réguler des tensions structurantes, transférables à d'autres problématiques de santé-environnement.

Mots-clés : *chlordécone, formation d'enseignants, question socialement vive, santé-environnement, ingénierie de formation, développement des compétences professionnelles*

Contexte et enjeux

La pollution par la chlordécone aux Antilles françaises constitue une question socio-environnementale vive associant des dimensions sanitaires, écologiques, agricoles, alimentaires, économiques, mémorielles et politiques. En Martinique, cette contamination durable du territoire interroge directement les missions de l'École et la formation des enseignants.

Aborder cette problématique en contexte scolaire ne consiste pas uniquement à transmettre des connaissances scientifiques actualisées. Il s'agit également d'accompagner les enseignants dans la gestion des controverses, la prise en compte des expériences vécues, la distinction entre faits, preuves et opinions, ainsi que dans la construction de postures professionnelles adaptées à un territoire concerné par une contamination environnementale persistante.

L'objectif de cette étude est d'analyser l'évolution du dispositif académique de formation porté par le GRFI Chlordécone entre 2020 et 2026 afin d'identifier les inflexions majeures de son ingénierie et les principes susceptibles d'être transférés à d'autres problématiques socio-environnementales complexes.

Matériel et méthodes

Cette analyse diachronique repose sur les archives du dispositif : programmes et déroulés de séminaires, référentiels, documents de cadrage, tableau de bord académique, supports de formation, livrets, ressources pédagogiques et productions issues des ateliers. Deux axes structurent l'étude :

1. le passage de la commande institutionnelle à la construction de la chlordécone comme objet scolaire ;
2. l'opérationnalisation des savoirs en ressources pour former, enseigner et agir.

Les données ont été examinées selon une logique comparative afin d'identifier les continuités, ruptures et évolutions du dispositif sur six années.

Résultats et discussion

L'analyse met en évidence une évolution du dispositif entre 2020 et 2026 : d'une logique initiale d'actualisation scientifique vers une logique de professionnalisation intégrant didactisation, production de ressources, accompagnement des postures et prise en compte des dimensions sensibles de la question chlordécone. Les modalités de formation se diversifient progressivement (ateliers, terrain, hackathon, échanges entre pairs, productions collaboratives), favorisant l'appropriation des savoirs et leur transfert dans les pratiques enseignantes.

Les principales inflexions observées concernent l'élargissement des publics, l'ouverture vers une approche plus globale en santé-environnement, le renforcement du dialogue entre acteurs scientifiques, éducatifs et citoyens, ainsi que l'intégration croissante des enjeux de controverse et de vécu professionnel.

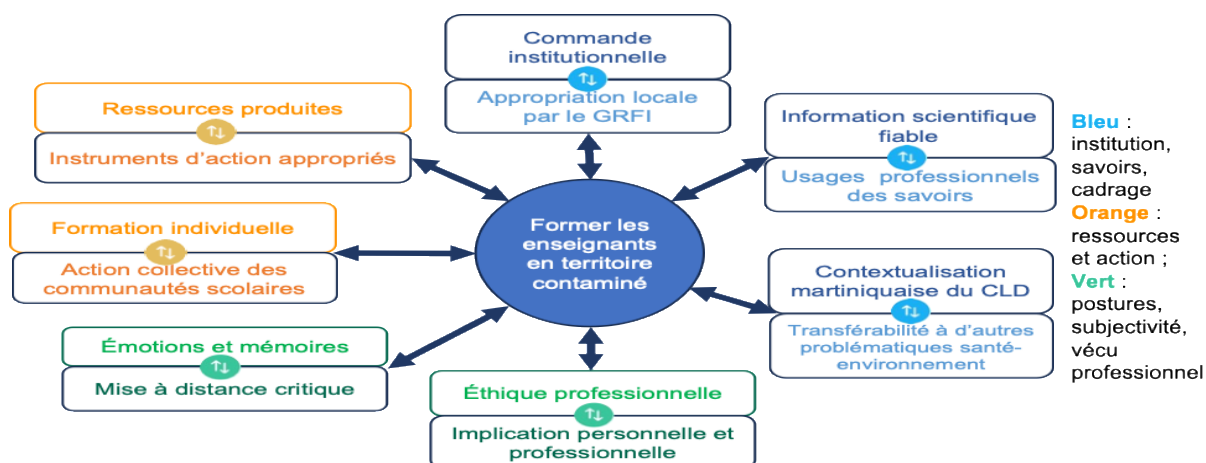


Schéma de synthèse – Des tensions structurantes à réguler dans l'ingénierie de formation

Le dispositif repose sur la recherche d'équilibres entre savoirs scientifiques et expériences vécues, contextualisation territoriale et exigences curriculaires, neutralité professionnelle et traitement des controverses, sensibilisation et capacité d'action. Ces tensions constituent des repères utiles pour la conception de formations relatives à d'autres questions socialement vives en santé-environnement. Les effets du dispositif sur les pratiques enseignantes et les apprentissages des élèves restent à documenter.

Références bibliographiques

- Brossais, E., Mias, C., & Rinaudo, J.-L. (2020). Recherche, formation, ingénierie : quelle articulation ? TransFormations. Recherches en éducation et formation des adultes, 20. <https://transformations.univ-lille.fr/index.php/TF/article/view/396>
- Dugal, J.-P., & Léziart, Y. (2004). La circulation des savoirs entre recherche et formation : l'exemple des concepts didactiques lors d'une action de formation de conseillers pédagogiques. Revue française de pédagogie, 149, 37-47. <https://doi.org/10.3406/rfp.2004.3171>
- Simonneaux, L., & Legardez, A. (2011). Introduction générale. Didactique des questions socialement vives : répondre aux besoins de formation dans la société postmoderne. Dans A. Legardez & L. Simonneaux (dir.), Développement durable et autres questions d'actualité : questions socialement vives dans l'enseignement et la formation (pp. 15-29). Éducagri éditions. <https://doi.org/10.3917/edagri.legar.2011.01.0015>
- Simonneaux, L., Simonneaux, J., & Cancian, N. (2016). QSV agro-environnementales et changements de société : transition éducative pour une transition de société via la transition agroécologique. Diversité REcherches et Terrains, 8. <https://doi.org/10.25965/dire.773>
- Voisin, C. (2022). École républicaine et questions socialement vives : la neutralité engagée ? Éducation et socialisation. Les Cahiers du CERFEE, 64. <https://doi.org/10.4000/edso.19168>

Écoc'île : un jeu sérieux pour comprendre et agir face aux dynamiques systémiques de l'écocide

Alexandra Bellemin-Bertraz^{1,2}, Sylvain Dernat², Jean-Luc Gourdine^{1*}

¹ UR ASSET, INRAE, Guadeloupe

² UMR Territoires, Plateforme GAMAE, INRAE

* jean-luc.gourdine@inrae.fr

♦ Messages-clés :

- Écoc'île est un jeu sérieux qui simule les dynamiques différées et systémiques de la pollution et de l'écocide.
- Le jeu illustre les dilemmes de gestion des communs et la tension coopération/compétition.
- Les mécaniques et supports ludiques facilitent l'appropriation des enjeux écologiques par différents publics.
- Le jeu est en cours de diffusion pour s'intégrer dans les contextes éducatifs et associatifs.
- Un protocole d'évaluation longitudinal a été mis en place afin d'analyser les effets du jeu sur les connaissances, les attitudes et les intentions d'agir.

Mots-clés : *écocide, pollution, jeu sérieux, socio-écosystème, gestion des communs*

Contexte et enjeux

Les activités humaines peuvent modifier durablement les écosystèmes, parfois jusqu'à provoquer des dommages irréversibles, un phénomène que le droit et la science qualifient d'écocide (Higgins *et al.*, 2013). Parmi les exemples les plus marquants, la pollution par le chlordécone aux Antilles françaises illustre de manière saisissante les effets à long terme d'un contaminant persistant : accumulation dans les sols, l'eau, la biodiversité et les chaînes alimentaires, impacts différés sur la santé humaine et perturbation des écosystèmes (Dromard *et al.*, 2022).

Cette situation complexe met en lumière l'importance de comprendre les interactions entre sources de pollution, diffusion dans l'environnement et dynamiques sociales et économiques, afin de prévenir ou d'atténuer des écocides similaires à l'avenir. Elle interroge également la capacité des sociétés à gérer collectivement des ressources communes face à des pressions productives et à des incertitudes scientifiques.

Dans ce contexte, le jeu sérieux Écoc'île a été conçu pour simuler ces systèmes socio-écologiques et permettre aux participants d'expérimenter les dilemmes de la gestion collective des ressources (Ostrom, 1990) et les stratégies de coopération, tout en rendant tangibles les conséquences de pollutions persistantes sur la santé et l'environnement (Rockström *et al.*, 2009).

Matériel et méthodes

La conception d'Écoc'île s'est structurée en quatre étapes étroitement articulées.

Dans un premier temps, un collectif de 17 experts issus de disciplines variées : écologie, agronomie, chimie, santé, droit et milieu associatif, a travaillé à la co-construction des objectifs scientifiques et pédagogiques du jeu, validé le cahier des charges et posé les fondations du modèle systémique. Cette phase initiale a permis d'assurer que le jeu repose sur une base scientifique solide et intégrée aux enjeux réels des territoires concernés. Une recherche bibliographique, visant à identifier les polluants les plus pertinents, tels que les pesticides, les néonicotinoïdes, les PFAS, les métaux lourds et le chlordécone et à analyser les dynamiques d'écocide ainsi que les principes de gouvernance des communs. Ces éléments ont permis de définir les mécanismes du jeu, en veillant à traduire des concepts complexes en interactions ludiques compréhensibles par des publics variés.

Ces travaux ont conduit à l'élaboration d'un modèle systémique représentant les interactions entre activités humaines, ressources naturelles, pollutions et santé. Ce modèle a ensuite été traduit en mécaniques ludiques où les participants incarnent les responsables d'îles appartenant à un même archipel. Chaque joueur doit développer son territoire tout en limitant les impacts environnementaux de ses activités et en préservant les ressources partagées.

Afin de valider le dispositif, neuf sessions de playtest ont été organisées auprès d'une cinquantaine de participants. Ces expérimentations ont permis d'évaluer la compréhension des règles, la cohérence des mécaniques et l'adéquation entre les objectifs pédagogiques et l'expérience de jeu. Les retours recueillis ont conduit à plusieurs ajustements des supports, du rythme de jeu et des modalités d'animation.

Une fois le dispositif terminé, il a été édité puis distribué à des structures pour sa diffusion en lien avec un protocole d'évaluation longitudinal, mis en place lors des animations du jeu. Celui-ci repose sur trois temps de mesure :

- un questionnaire administré avant la partie,
- un questionnaire administré immédiatement après la session et le débriefing,
- un questionnaire de suivi diffusé deux mois après la participation.

Les questionnaires visent à mesurer plusieurs dimensions : les connaissances relatives aux pollutions, aux contaminants persistants, aux écocides et à la gestion des ressources communes, les attitudes face aux enjeux environnementaux, les dimensions relationnelles associées à la coopération, ainsi que les intentions d'engagement, de sensibilisation ou de changement de comportement.

Résultats et discussion

Le jeu propose une simulation animée d'un archipel fictif dans lequel chaque joueur incarne le leader d'une île avec une identité propre (culture, pratiques et objectifs de production). L'objectif est de faire prospérer son territoire (développer son île en produisant ce dont elle a besoin) tout en coopérant, ou non, avec les autres pour éviter un écocide collectif. Le jeu se déroule sur dix tours au maximum, chacun représentant sept années. Chaque île comporte un total de six zones, agricole, aquatique, naturelle, urbaine et deux zones aléatoires, associées à des ressources régénérables (sol, eau, biodiversité). Les zones urbaines servent de sites de production.

Les joueurs (entre 3 à 8 joueurs de + de 15 ans) disposent de quatre actions par tour, comprenant déplacement, collecte de ressources, production, échange, dépollution ou participation à des recherches et action collectives. La durée du jeu est d'environ 1h30 à 2h, suivi d'une phase importante de debriefing d'une trentaine de minutes. Certaines actions entraînent des effets différés sur les ressources, les productions et la pollution. Ces actions sont, simulées par des jetons et par la progression de la jauge d'écocide collective.

Quatre catégories de polluants fictifs illustrent des logiques de diffusion différenciées, allant des polluants dégradables aux ultra-persistants, inspirées des contaminations réelles telles que celle induites par la molécule chlordécone. En fin de tour, des cartes événements introduisent des chocs positifs (comme avancée législative ou innovation et découverte d'un procédé de dépollution) ou négatifs (comme contamination des nappes phréatiques ou incinération de déchets toxiques), simulant des perturbations réalistes et accentuant la complexité des choix.

Des systèmes de boucles de rétroaction illustre la propagation de la pollution dans les différents compartiments du socio-écosystème et dans le temps ainsi que la nécessité de coopération pour préserver les ressources communes.

Sur le plan pédagogique et scientifique, Écoc'île cherche à rendre intelligible la complexité des pollutions différées et des écocides tout en illustrant les dilemmes classiques de gestion des communs. La simplification des polluants et la dimension narrative permettent aux participants d'expérimenter les conséquences systémiques de leur choix et de réfléchir aux enjeux de coopération et de prévention.

L'animateur joue un rôle clé, guidant l'expérience et transformant les décisions et émotions en apprentissages explicites et transférables au cours du débriefing (Crookall, 2010). Cependant, l'impact potentiel du jeu dépend de la qualité de l'animation et de l'activation par des collectifs organisés, qui peuvent renforcer la mobilisation et l'engagement autour de l'action environnementale.

Les analyses quantitatives actuellement en cours permettront d'évaluer l'évolution des connaissances, des attitudes et des intentions d'action entre les trois temps de mesure (avant, après et à deux mois). Au-delà de la sensibilisation, l'objectif est d'examiner dans quelle mesure un jeu sérieux peut contribuer à renforcer la compréhension systémique des enjeux environnementaux et soutenir le passage à l'action individuelle et collective.

Références bibliographiques

- CROOKALL, David, 2010. Serious Games, Debriefing, and Simulation / Gaming as a Discipline. *Simulation & Gaming* [en ligne]. 2010. [Consulté le 25 juillet 2025]. DOI 10.1177/1046878110390784. Disponible à l'adresse : <https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.1177/1046878110390784>
- DROMARD, Charlotte R., DEVAULT, Damien A., BOUCHON-NAVARO, Yolande, ALLÉNOU, Jean- Pierre, BUDZINSKI, Hélène, CORDONNIER, Sébastien, TAPIE, Nathalie, REYNAL, Lionel, LEMOINE, Soazig, THOMÉ, Jean-Pierre, THOUARD, Emmanuel, MONTI, Dominique et BOUCHON, Claude, 2022. Environmental fate of chlordane in coastal habitats: recent studies conducted in Guadeloupe and Martinique (Lesser Antilles). *Environmental Science and Pollution Research*. 1 janvier 2022. Vol. 29, n° 1, pp. 51-60. DOI 10.1007/s11356-019-04661-w.
- HIGGINS, Polly, SHORT, Damien et SOUTH, Nigel, 2013. Protecting the planet: a proposal for a law of ecocide. *Crime, Law and Social Change*. 1 avril 2013. Vol. 59, n° 3, pp. 251-266. DOI 10.1007/s10611-013-9413-6.
- OSTROM, Elinor, 1990. *Governing The Commons* [en ligne]. Cambridge University Press. Cambridge University Press. [Consulté le 25 juillet 2025]. Disponible à l'adresse : <http://archive.org/details/governingthecommons>
- ROCKSTRÖM, Johan, STEFFEN, Will, NOONE, Kevin, PERSSON, Åsa, CHAPIN, F. Stuart III, LAMBIN, Eric, LENTON, Timothy, SCHEFFER, Marten, FOLKE, Carl, SCHELLNHUBER, Hans
- Joachim, NYKVIST, Björn, DE WIT, Cynthia, HUGHES, Terry, VAN DER LEEUW, Sander, RODHE, Henning, SÖRLIN, Sverker, SNYDER, Peter, COSTANZA, Robert, SVEDIN, Uno, FALKENMARK, Malin, KARLBERG, Louise, CORELL, Robert, FABRY, Victoria, HANSEN, James, WALKER, Brian, LIVERMAN, Diana, RICHARDSON, Katherine, CRUTZEN, Paul et FOLEY, Jonathan, 2009. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society* [en ligne]. 18 novembre 2009. Vol. 14, n° 2. [Consulté le 24 juillet 2024]. DOI 10.5751/ES-03180-140232. Disponible à l'adresse : <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

Chlordécone : une étude qualitative exploratoire du sentiment de justice des personnes victimes en Martinique et en Guadeloupe

Violette Prignac Merle^{1*}

¹ BSc. Criminologie, MSc. Criminologie, École de criminologie, Université de Montréal.

* violette.prignac@umontreal.ca

♦ Messages-clés :

- Le chlordécone est à l'origine de préjudices individuels comme collectifs, non seulement sanitaires, mais entre autres d'ordre psychiques, culturelles, sociales et économiques.
- Le sentiment de justice est multidimensionnel (distributif, procédural et interactionnel) et ne se réduit pas à l'issue et aux résultats des procédures de justice.
- La souffrance des victimes semble aggravée par les mécanismes de justice (formels comme informels) eux-mêmes, engendrant des formes de « victimisations secondaires ».
- Agir pour améliorer le sentiment de justice suppose de reconnaître l'expérience de la victimisation, d'écouter les premiers concernés, de réparer selon les besoins, et de responsabiliser les entités fautives.

Mots-clés : *sentiment de justice, victimisation secondaire, victimologie verte, crime toxique*

Contexte et enjeux

La contamination au chlordécone en Martinique et en Guadeloupe fait partie de ce que la criminologie verte nomme les « crimes toxiques », à savoir : les préjudices causés dans le cadre d'une activité légale, du fait d'une chaîne de décisions d'acteurs publiques comme privés, et dont les effets persistent sur plusieurs générations d'être vivants. Si les dimensions environnementales et physiques de ce « scandale sanitaire » sont de plus en plus documentées, ses implications sur le bien-être mental et social demeurent quant à elles moins explorées. Or, d'après l'Organisation mondiale de la santé, être en « santé » n'est pas seulement un état défini en « l'absence de maladies » ; il est question de « santé » lorsque les besoins physiques, mais aussi ceux mentaux et sociaux sont comblés, et ce, de manière complète (OMS, 1948). L'approche « *One health* » rappelle que la santé individuelle ne peut être dissociée de celle des populations et des écosystèmes dans lesquels ils s'inscrivent (Alonzo et South, 2025). Aborder la question de la victimisation en se concentrant sur les conséquences dommageables plutôt que sur la définition légale d'un crime et d'une victime permet de considérer la contamination au chlordécone comme un exemple de « tort social » (Wright, 2023). Cette grille de lecture, qui gagne du terrain en victimologie verte (Williams, 1996), incite à dépasser une conception exclusivement « physico-chimique » des crimes toxiques en adressant non seulement les préjudices physiques, mais également ceux psychiques, financiers, culturels et en lien avec l'identité personnelle et collective des victimes. La littérature victimologique identifie que les personnes exposées à des contaminations environnementales chroniques présentent en effet des besoins fondamentaux en matière de sécurité, d'information, de soutien, de réparation, et justice. Dans le cas du chlordécone, qu'en est-il de ce dernier point ? Quels facteurs jouent sur le sentiment de justice ?

Matériel et méthodes

Cette contribution s'appuie sur une étude qualitative exploratoire à partir des données collectées lors d'un séjour de recherche en Martinique et en Guadeloupe débuté en 2023, dans le cadre d'un mémoire de maîtrise en criminologie à l'Université de Montréal. Vingt-quatre entretiens semi-dirigés ont été réalisés, en ligne et en personne, avec des personnes s'identifiant comme victimes de la contamination au chlordécone (ouvriers agricoles, marin-pêcheur, riverains de plantations et autres résidents) et présentant un préjudice direct et/ou indirect. Les entrevues ont été analysées thématiquement à partir du cadre conceptuel des théories de la justice (justice distributive, procédurale et interactionnelle) (Wemmers, 2010). Les perceptions de justice retenue sont également analysées sous l'œil du concept de « victimisation secondaire », théorisée par Symonds (1980). Si l'échantillon est diversifié (âge, genre, profession), il n'est pas représentatif de l'ensemble des expériences guadeloupéennes et martiniquaises, d'autant que la chercheuse n'y réside pas et que la collecte de données a pris fin en 2024. Ces éléments de contexte invitent

à comprendre la présente contribution comme un éclairage partiel de l'expérience de justice de certaines personnes touchées par le chlordécone et de leur sentiment de justice, appelant alors à des recherches complémentaires conduites et pilotées depuis la Martinique et la Guadeloupe elles-mêmes.

Résultats et discussion

Le sentiment de justice semble, d'une part, déterminé par les résultats attendus des mécanismes, formels comme informels, de justice (Wemmers, 2010). Pour ce qui est du chlordécone, les participants expriment trois attentes principales : (1) responsabiliser ceux qui en sont à l'origine ; (2) réparer intégralement les préjudices subis par toutes les victimes (sur les plans physique, psychique, culturel, social, économique et environnemental) ; et (3) établir et divulguer la « vérité » sur les événements.

La perception d'une justice ne tient toutefois pas qu'à ces aboutissements espérés : la qualité du processus et du traitement qui y conduisent en apparaît indissociable. À ce titre, le non-lieu de janvier 2023, comme plusieurs déclarations/communications des autorités publiques, a été vécu par les participants comme une « deuxième blessure », niant la gravité de la contamination et ses conséquences. Un traitement perçu comme peu satisfaisant, étant donné que l'État porte une « partie » de la responsabilité de la contamination, tout en ayant ses représentants être les garants des institutions judiciaires, ce qui complique pour beaucoup la perception d'une neutralité de ces derniers. Ainsi, lorsqu'il est question des souffrances liées à chlordécone, les participants distinguent celles qu'elles associent directement à la molécule (exposition à un risque pour leur santé physique) de celles qui émanent plutôt du traitement social et institutionnel de la contamination (dénier de responsabilité, manque de transparence des décisions, peu de voix des populations au chapitre, sentiment de décalage des Plans avec les besoins réels...) indiquant que ces dernières sont parfois plus difficiles à supporter que les premières.

Les besoins exprimés suggèrent alors que le sentiment de justice ne se développerait pas qu'en présence d'un résultat satisfaisant. Si des mesures concrètes sont indispensables, la qualité du traitement interpersonnel et de la procédure l'est tout autant. Plusieurs participants soulignent à ce titre qu'une reconnaissance explicite des préjudices, ainsi qu'un sentiment de coproduction des plans d'action avec les premiers concernés auraient une incidence favorable sur leur confiance envers les dispositifs existants, ainsi que leur légitimité. Ces éléments ne se substitueraient toutefois pas à une responsabilisation, qu'elle soit symbolique pour certains ou qu'elle résulte d'une condamnation par le système judiciaire pour d'autres, de ceux qui ont tiré profit, par le passé, de l'utilisation du produit. Dans un contexte où la victimisation est de fait collective et s'inscrit dans des dynamiques de pouvoir inégales, cette responsabilisation reste, pour un grand nombre de participants, une condition *sine qua non* à tout sentiment de justice. En guise de conclusion, cette contribution met ainsi en évidence l'importance de prendre en considération le sentiment de justice de celles et ceux touchés par le chlordécone lorsqu'il est question de réfléchir au traitement judiciaire et sociétal de cette contamination ainsi qu'aux réponses à y apporter.

Références bibliographiques

- Alonso, A.I & South, N. (2025). Incorporating a One Health Approach Into the Study of Environmental Crimes and Harms: Towards a 'One Health Green Criminology'. *The British Journal of Criminology*, 65(2), pp. 328-343. <https://doi.org/10.1093/bjc/azae047>
- Symonds, M. (2010). The « second injury » to victims of violent acts. 1980. *American Journal of Psychoanalysis*, 70(1), pp. 34-41. <https://doi.org/10.1057/ajp.2009.38>
- Wemmers, J.-A. (2010). The Meaning of Justice for Victims. Dans *International Handbook of Victimology*. Routledge.
- Williams, C. (1996). An environmental victimology. *Social Justice* 23(4), pp. 16-40.
- Wright E. J. (2023). Decolonizing Zemiology: Outlining and Remediating the Blindness to (Post)colonialism Within the Study of Social Harm. *Critical criminology*, 31(1), pp. 127 144. <https://doi.org/10.1007/s10612-022-09682-5>

Entreprises en milieu durablement contaminé : responsabilité et attractivité territoriale à la lumière de la Charte de l'environnement

Brigitte Facorat Gaspard^{1*}

¹ Université des Antilles – CREDDI

Membre du programme de recherche REMED-CHLOR

* brigitte.facorat-gaspard@univ-antilles.fr

♦ Messages-clés :

- La Charte de l'environnement consacre un régime constitutionnel exigeant de responsabilisation applicable à l'ensemble des acteurs ; ses effets prennent toutefois une acuité particulière pour les entreprises en contexte de pollution durable.
- En contexte de pollution durable, l'effectivité de ces principes appelle une modulation de leurs modalités d'application.
- La responsabilité-projet des entreprises permet d'identifier les modalités d'évolution du cadre juridique compatibles avec les principes à valeur constitutionnelle consacrés par la Charte de l'environnement.
- En milieu durablement contaminé, l'attractivité territoriale ne disparaît pas ; elle se redéfinit à l'aune de la cohérence du régime de responsabilisation impliquant l'ensemble des parties prenantes.

Mots-clés : chlอร์ดэcone, entreprises, responsabilité-projet, attractivité territoriale, charte de l'environnement

Contexte et enjeux

La pollution par la chlอร์ดэcone engendre une fragmentation environnementale du territoire : au sein d'une même commune, certaines parcelles sont durablement contaminées quand d'autres ne le sont pas, plaçant les acteurs économiques face à une cartographie juridique et sanitaire hétérogène et mouvante. Cette configuration rend l'exercice de l'activité économique particulièrement sensible à la sécurité juridique, à la sécurité économique et aux enjeux de souveraineté alimentaire.

La présente contribution s'inscrit dans la continuité des travaux consacrés à la responsabilité envers les générations futures⁵ et dans le prolongement de recherches récentes relatives à l'attractivité du droit des affaires, appliqué à l'entreprise⁶. Elle vise à examiner comment le régime de responsabilisation influe sur l'attractivité des territoires antillais, à la lumière des principes consacrés par la Charte de l'environnement. La responsabilité-projet rejoint ainsi l'idée d'un impératif orienté vers l'avenir, tel que conceptualisé par Hans Jonas, en invitant à intégrer les conséquences futures des activités présentes dans la décision économique. Cette orientation prospective se traduit dans un droit vivant, au sein duquel les exigences constitutionnelles de prévention, de précaution et de participation encadrent concrètement l'action des entreprises.

Matériel et méthodes

L'étude repose sur une analyse doctrinale et jurisprudentielle des principes issus de la Charte de l'environnement, envisagés comme des normes constitutionnelles opératoires encadrant l'activité des entreprises. L'examen porte notamment sur leur réception par le juge administratif et constitutionnel, ainsi que sur leur articulation avec les mécanismes législatifs relatifs à la prévention, à la réparation du préjudice écologique et à la participation du public.

Chaque principe est étudié dans sa capacité à déterminer concrètement les modalités juridiques de responsabilisation des différents acteurs impliqués dans l'activité économique en territoire durablement

⁵ B. Facorat Gaspard, *La réparation de l'impact du chlอร์ดэcone à l'aune de la responsabilité envers les générations futures*, in colloque scientifique « Clอร์ดэcone, connaître pour agir », déc. 2022.

⁶ B. Facorat Gaspard (dir.), *Attractivité du droit des affaires. L'entreprise du XXI^e siècle*, Université des Antilles, CREDDI, colloque international, Pointe-à-Pitre, 8&9 fév. 2024, Bibliothèque numérique Manioc, <https://www.manioc.org/BUAVI240008>. A paraître aux ed. LexisNexis

contaminé. L'analyse porte notamment sur l'effectivité du droit à un environnement respectueux de la santé, sur l'intensité des obligations de prévention et de précaution dans un contexte de risque structurel, ainsi que sur les exigences procédurales attachées à la participation des populations concernées et à l'information environnementale.

L'approche intègre également une dimension empirique. Une observation de terrain menée dans des communes affectées par la pollution à la chlordécone met en évidence la fragmentation environnementale du territoire. Au sein d'un même espace communal, certaines parcelles demeurent durablement contaminées quand d'autres ne le sont pas. Cette hétérogénéité territoriale rend concrètement perceptible la variabilité des contraintes juridiques pesant sur les acteurs économiques et éclaire les difficultés d'application uniforme des principes constitutionnels. L'analyse croise ainsi le droit positif et la réalité matérielle des territoires.

Au cœur de la démonstration, la contribution s'appuie sur la responsabilité-projet, conçue comme une responsabilisation prospective inscrivant l'activité économique dans une temporalité longue. Cette approche permet de dépasser une logique exclusivement réparatrice pour intégrer l'anticipation du risque environnemental dans l'architecture juridique existante. Elle offre ainsi une grille de lecture des modalités d'évolution du droit compatibles avec les principes à valeur constitutionnelle consacrés par la Charte de l'environnement.

L'objectif est d'assurer la cohérence normative indispensable à la sécurité juridique et à la redéfinition de l'attractivité territoriale en contexte de pollution durable.

Références bibliographiques

- M. Ferdinand, *Une écologie décoloniale. Penser l'écologie depuis le monde caribéen*, Paris, Seuil, 2019.
- L. Neyret et N. Reboul-Maupin (dir.), *Déclaration pour la protection juridique de l'environnement*, Paris, L'Harmattan, 2015.
- J.-Ph. Robé, *Le temps du monde de l'entreprise. Globalisation et mutation du système juridique*, Paris, Dalloz, 2015.
- F. Ost, *La nature hors la loi. L'écologie à l'épreuve du droit*, Paris, La Découverte, 2003.
- H. Jonas, *Le Principe responsabilité. Une éthique pour la civilisation technologique*, Paris, Cerf, 1990.

Les approches toxicocinétiques au service de la sécurisation des élevages et des produits animaux en zones chlordéconées

Agnès Fournier^{1*}, Cyril Coppens¹, Jean-Daniel Masson¹, Yves Le Roux¹, Guido Rychen¹

¹ LZA, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-Lès-Nancy, France

* agnes.fournier@univ-lorraine.fr

♦ Messages-clés :

- De nombreux paramètres toxicocinétiques pour la chlordécone ont été obtenus ou sont en cours d'obtention chez les animaux d'élevage.
- L'intégration de données toxicocinétiques au sein d'un modèle PBPK, permet de simuler différentes situations physiologiques et d'exposition.
- L'obtention de données toxicocinétiques permet de proposer des outils d'accompagnement aux éleveurs de zones contaminées.

Mots-clés : *sécurité sanitaire des aliments, gestion du risque, modélisation, excrétion, distribution*

Contexte et enjeux

Les denrées alimentaires d'origine animale peuvent être une source d'exposition à la chlordécone (CLD) pour l'homme, en cas de contamination de ces dernières. C'est pourquoi des limites maximales de résidus (LMR) ont été mises en place et que des plans de contrôles et de surveillances permettent de vérifier le respect de ces limites. Dans ce contexte les éleveurs ont besoin d'outils pour définir les stratégies d'élevage les plus appropriées compte tenu de la diversité : (i) des espèces animales et des stades physiologiques et (ii) des systèmes d'élevage et des types de parcelles. En effet une simple valeur de transfert de CLD vers tel ou tel produit animal (qui n'est valable que pour une situation donnée) est insuffisante pour proposer des solutions adaptées aux éleveurs et leur garantir que les carcasses soient en dessous des seuils réglementaires lors des contrôles à l'abattoir. De plus, il est nécessaire de pouvoir appréhender le niveau de variabilité existant entre individus d'une même espèce, afin de pouvoir mieux envisager la décontamination d'un groupe d'animaux.

C'est ainsi que plusieurs études de toxicocinétiques de la CLD sont menées chez les animaux de rentes pour identifier, caractériser et comprendre chacune des étapes du transfert que sont l'absorption, la distribution, le métabolisme et l'excrétion. Ces études utilisent différents types d'approches toxicocinétiques complémentaires.

Matériel et méthodes

Différentes approches déployant des études toxicocinétiques individuelles non compartimentales et compartimentales sont mises en œuvre. Cela nécessite la mise en place d'expérimentations animales chez différentes espèces, associant une exposition unique par voie intraveineuse ou une exposition chronique quotidienne via un aliment contaminé à une dose connue. Dans les deux cas, l'exposition est suivie d'une période de décontamination. Des études sont ainsi menées chez l'animal adulte à l'entretien et selon les espèces, également chez le jeune en croissance et la femelle gestante puis lactante. Selon les études, des prélèvements de sang, de lait, d'urine et de fèces sont effectués afin d'obtenir les cinétiques de la CLD et du CLDOH dans ces matrices. Des prélèvements ponctuels de tissus sont également réalisés afin de pouvoir caractériser la distribution de la CLD dans l'organisme. Différents paramètres toxicocinétiques tels que le volume de distribution, les clairances sériques et fécales, mais aussi les coefficients de partition entre le sang et les tissus analysés, sont ainsi calculés. L'analyse toxicocinétique compartimentale de population est également utilisée afin d'estimer la distribution statistique des paramètres toxicocinétiques de la CLD sur une population d'individus, ce qui permet de combiner la modélisation de la réponse (concentration en fonction du temps) en calculant les paramètres toxicocinétiques, la modélisation statistique de la variabilité interindividuelles et la modélisation de l'influence de facteurs physiologiques (covariables) sur les paramètres toxicocinétiques.

Enfin, dans l'objectif de prendre en compte la physiologie de l'animal lors de simulation d'exposition ou de décontamination au cours du temps, mimant ainsi des situations de terrain, à partir de certains paramètres toxicologiques, le développement de modèle pharmacocinétique à base physiologique (PBPK) s'avère nécessaire. A partir de ce type de modèle, un outil d'aide à la décision (OAD) a déjà été développé (Feidt et al., 2022) afin d'accompagner les éleveurs.

Résultats et discussion

Ces différentes approches permettent d'approfondir les connaissances sur le transfert de la CLD chez les animaux de rente et d'obtenir ainsi des informations complémentaires à un simple niveau de transfert de la CLD chez un animal donné, à l'état d'équilibre. Au-delà des informations descriptives apportées par les cinétiques de concentrations sériques de la CLD et du CLD-OH, ces données permettent l'obtention des paramètres de clairance et de volume de distribution, ce qui contribue à pouvoir expliquer la durée de la demi-vie en renseignant sur la capacité d'élimination ou de stockage de la molécule et ainsi de mieux comprendre les différences entre espèces ou statuts physiologiques. Les étapes de distribution, métabolisme et d'élimination peuvent ainsi être davantage renseignées. Par exemple, les calculs de clairances sériques et fécales permettent de quantifier la part de CLD éliminée et d'évaluer le retour au sol de la molécule pour les cas de terrain. Les différents éléments obtenus au cours des études toxicocinétiques contribuent également, en complément des coefficients de partitions et de données physiologiques issues du terrain ou de la bibliographie zootechnique, au développement de modèles PBPK. Cette approche compartimentale particulière présente l'avantage de pouvoir simuler au cours du temps des scénarii différents d'exposition, mais aussi de caractéristiques physiologiques variables. Ce type de modèle actuellement développé chez le ruminant adulte à l'entretien (Fourcot, 2020) et chez la poule pondeuse (Thiebaut et al. 2024) doit être enrichi avec d'autres données issues de nouvelles approches (NAMs) permettant d'affiner certains paramètres toxicocinétiques, qui sont, pour le moment, simplement ajustées et non mesurés expérimentalement (Klevenhusen et al., 2020). L'ensemble des données acquises (nouvelles caractérisations de paramètres, selon le statut physiologique...) et en cours d'acquisition donneront l'occasion de comprendre les sources de variabilité existante entre les individus, qu'ils soient d'une même espèce ou non, et d'ajuster l'OAD aux différentes situations. En conclusion, les approches toxicocinétiques sont une démarche puissante pour caractériser le devenir de la CLD chez l'animal et fournissent des éléments précieux pour le développement d'outils au service des éleveurs.

Références bibliographiques

1. FOURCOT, A. 2020 *Distribution et élimination de la chlordécone chez les animaux d'élevage – modélisation des processus*. Thèse de doctorat : Université de Lorraine.
2. THIÉBAUT, J. et al. 2024. *Design of a generic model based on physiology for persistent organic pollutants in laying hens: Applications on chlordécone and chlorinated paraffins*. Science of The Total Environment, 917, 170447.
3. Klevenhusen, F., et al. 2020. *Predicting the Transfer of Contaminants in Ruminants by Models – Potentials and Challenges*. ALTEX 38(3), 398-418

Développer une méthode acceptée et partagée avec les populations couplant un traitement chimique et la phytostimulation dans les sols pour réduire l'exposition vis-à-vis de la chlordécone

Patrick Ollivier^{1*}, Jennifer Harris¹, Bryan Vincent², Isabelle Dubost³, Carolina Guida¹, Laurent Thannberger⁴, Laure Hannibal⁵, Robin Duponnois², Joyce Belny-Mellinger⁶, Christophe Simonin⁶, Sébastien Bristeau¹, Benoit Vittecoq⁷, Justin Daniel³

¹ BRGM, Orléans

² IRD, UMR LISAH, Campus La Gaillarde, SupAgro, Montpellier

³ Laboratoire caribéen de sciences sociales (LC2S). UMR CNRS 8053. Campus Universitaire, Schoelcher, Martinique.

⁴ VALGO, 25, avenue de Larrieu, 31100 Toulouse

⁵ IRD, UMR IMBE, Campus agro-environnemental Caraïbes (CAEC), Martinique

⁶ Carbet des Sciences - CCSTI Martinique

⁷ BRGM, Martinique

* p.ollivier@brgm.fr

♦ Messages-clés :

- **Une approche interdisciplinaire et participative :**

L'étude associe sciences humaines et sociales et expérimentations scientifiques, avec une implication forte des citoyens et parties prenantes afin d'intégrer perceptions, priorités d'action et acceptabilité sociale dans les stratégies de remédiation.

- **Des techniques innovantes en cours d'optimisation :**

Plusieurs approches combinées (biostimulation, réduction chimique *in situ* (ISCR) par du fer zéro valent (FZV), phytoremédiation avec mycorhization, agroécologie) sont testées en conditions contrôlées et au champ pour améliorer la dégradation de la CLD dans les sols.

- **Des résultats préliminaires encourageants :**

Les essais montrent une diminution des concentrations de CLD dans les sols, jusqu'à 40% en 6 mois, après un traitement ISCR optimisé utilisant une nouvelle source de carbone et des quantités en FZV 10 fois inférieures à celles utilisées jusqu'à présent (rendant la méthode économiquement réalisable), ainsi que des indices de biodégradation microbienne et un potentiel d'absorption par certaines plantes.

- **Une forte attente sociétale et des perspectives concrètes :**

Les acteurs locaux expriment un besoin important d'information, une éco-anxiété liée à la pollution et des enjeux socio-économiques majeurs. Des essais sur parcelles en conditions réelles et des actions de communication grand public sont prévus en 2026 pour démontrer l'applicabilité des solutions.

Mots-clés : chlordécone, ISCR, phytostimulation, biodégradation, acceptabilité sociale

Contexte et enjeux

Les sols de Martinique et de Guadeloupe restent fortement contaminés par la chlordécone (CLD), constituant une source persistante de transfert vers les eaux et les chaînes alimentaires, avec des impacts sur les écosystèmes et la santé humaine. À ce jour, aucune méthode universelle de dépollution à grande échelle n'existe [1]. Des travaux antérieurs, nous ont permis de développer plusieurs approches prometteuses : La réduction chimique *in situ* (ISCR) par le fer zéro valent (FZV ; [2,3]), la biodégradation stimulée *in situ* [4] et la rhizodégradation, fondée sur l'action conjointe des plantes et des microorganismes. Ces techniques présentent toutefois des limites techniques et économiques. Par ailleurs, dans un contexte de défiance envers les autorités et les scientifiques, il est essentiel d'associer les populations dans la construction et la réflexion des méthodes à appliquer pour trouver un enjeu acceptable et se diriger vers une dépollution durable. L'objectif de nos travaux est de combiner et d'optimiser l'efficacité et les coûts d'exécution des procédés de remédiation, s'assurer de l'acceptabilité sociale et de l'appropriation par les parties-prenantes des approches de remédiation pour *in fine* déployer une méthode efficiente, économiquement viable, opérationnelle et acceptable de traitement des sols vis-à-vis de la CLD. Les travaux s'inscrivent dans le projet DEMETER, financé par l'Agence Nationale de la Recherche.

Matériel et méthodes

L'étude combine sciences humaines et sociales (SHS) et expérimentations de remédiation en mésocosmes. L'approche SHS repose sur l'interaction entre experts, citoyens et parties prenantes. Deux groupes ont été

constitués : un groupe témoin suivant le projet et un groupe de parties prenantes réuni en tables rondes. Cette démarche permet de croiser données scientifiques et perceptions sociales pour orienter les priorités de traitement. Les expérimentations associent biostimulation, réduction chimique par FZV et phytoremédiation avec mycorhization. Depuis janvier 2024, des essais en conditions contrôlées sont menés sur deux types de sols (andosol et ferrisol), avec onze modalités expérimentales. Le pois patate a été retenu comme plante test, et la mélasse comme source de carbone pour stimuler l'activité microbienne. En parallèle, des essais sur parcelles testent des associations de plantes en agroécologie (pois d'Angole, ricin, Arachis, *Desmodium*, igname, taro) afin de favoriser la remédiation naturelle par les microorganismes du sol. Pour la communication grand public, des bandes dessinées et des podcasts ont été produits par Le Carbet des Sciences de Martinique.

Résultats et discussion

Un groupe témoin de 14 personnes a été créé. Il est composé d'enseignants, médecin, pêcheurs, agriculteurs, représentants associatifs, consommateurs, scientifiques... Trois rencontres ont déjà eu lieu, dont une visite du site expérimental, ainsi qu'une première réunion publique avec élus, associations et institutions locales. Les participants ont exprimé une forte demande d'information sur la contamination et les solutions de décontamination, ainsi qu'une éco-anxiété importante. Ils soulignent également les impacts socio-économiques pour les agriculteurs et l'enjeu de souveraineté alimentaire. Ils proposent de choisir les terres à décontaminer selon le critère de concentration de population (d'abord sélectionner des zones à proximité des villes), souhaitent que la dépollution s'inscrive dans une démarche de développement durable et d'autonomie alimentaire, et questionnent sur le transfert de la CLD lors de l'achat de terre.

Pour les tests de techniques de remédiation, les [CLD] initiales étaient de 0,6 mg/kg dans l'andosol et de 2,1 mg/kg dans le ferrisol. Le traitement ISCR optimisé a permis une réduction allant jusqu'à 25% après 2 semaines et 40% après 6 mois, avec apparition de produits de transformation (TP) de la CLD. Le maintien de conditions réductrices (~-500mV) confirme le potentiel toujours élevé de dégradation. Des indices de biodégradation ont aussi été détectés, apparition de molécules B1, dans certains témoins enrichis en mélasse, suggérant un rôle de l'activité microbienne. Malgré des difficultés de germination, le pois patate semble capable d'absorber la CLD. Les premiers résultats en agroécologie indiquent que l'association *desmodium*-ricin-plante à tubercules serait la plus favorable à la phytostimulation. Des mesures d'activité et de diversité microbienne ont été réalisées afin d'évaluer l'impact des traitements sur la fonctionnalité des sols et des essais de découplage entre les phénomènes de dégradation direct et indirect par l'activité microbienne d'une part et le FZV de l'autre ont été entrepris avec l'émergence de premiers résultats encourageants.

Dans les prochains mois, des entretiens semi-directifs seront menés auprès des acteurs concernés, le groupe témoin continuera à être réuni régulièrement, et une table ronde publique sera organisée. Des essais sur parcelles de 100 m² débiteront mi-2026 pour 18 mois afin de valider l'applicabilité des solutions optimisées. Les premiers entretiens et planche BD ont été diffusés sur les réseaux sociaux. De nouveaux supports de médiation (BD, podcasts, interviews) seront diffusés prochainement.

Références bibliographiques

- [1] Déaut and Procaccia, 2019. Rapport au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques sur les enjeux économiques, environnementaux, sanitaires et éthiques des biotechnologies à la lumière des nouvelles pistes de recherche. Tome I. N 4618 (Assemblée nationale), N 507 (Sénat).
- [2] Mouvet et al., 2016. Remediation by chemical reduction in laboratory mesocosms of three chlordecone-contaminated tropical soils, Environ Sci Poll Res, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7582-4>.
- [3] Ollivier et al., 2020. Laboratory study on the mobility of chlordecone and seven of its transformation products formed by chemical reduction in nitroisil lysimeters of a banana plantation in Martinique (French Caribbean), Sci Tot Environ 743, 140757. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140757>.
- [4] Hellal et al., 2021. Microbial Transformation of Chlordecone and Two Transformation Products Formed During in situ Chemical Reduction," Front. Microbiol 12, p. 3210.

Stratégie de dégradation chimique et d'identification des métabolites de la chlordécone

Valendy Thesnor^{1,5}, Allan Duro¹, Francesca Goudou¹, Ulises Jauregui-Haza³, Babak Minofar², Samirah Fundere^{1,5}, Zhaoxiang Liu⁴, Laura Brelle¹, Line Lomheim⁴, Elizabeth A. Edwards⁴, Gerardo Cebrián-Torrejón^{1*}, Sarra Gaspard^{1*}

¹ Laboratoire COVACHIMM2E, EA 3592, Université des Antilles, BP 250, 97157 Pointe à Pitre Cedex, Guadeloupe, France

² Department of Chemistry, Faculty of Science, University of South Bohemia in Ceske Budejovice, Branisovska 31, Ceske Budejovice 370 05, Czech Republic

³ INTEC, Av. de Los Próceres 49, Santo Domingo 10602, République dominicaine

⁴ Biozone Laboratory, Université de Toronto

⁵ INRAE, ASSET, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, France

* sarra.gaspard@univ-antilles.fr ; gerardo.cebrian-torreon@univ-antilles.fr

◆ Messages-clés :

Trois familles de métabolite de la CLD a été identifié : hydrochlordécones (A), polychloroindènes (B) et les polychloroindènes carboxylés (C). L'électrosynthèse réactionnelle avec une réduction de la vitamine B12 s'est révélée la plus efficace, dégradant >99 % de la CLD.

Mots-clés : chlordécone, dégradation, électrosynthèse, dynamique moléculaire

Contexte et enjeux

La chlordécone (CLD, C₁₀Cl₁₀O), un pesticide organochloré persistant utilisé de 1972 à 1993 [1] dans les Antilles françaises (Guadeloupe et Martinique) contre le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus*, contamine durablement les sols, les eaux et la chaîne alimentaire. Hydrophobe et bioaccumulable, elle persiste pendant des décennies à un demi-millénaire dans les sols, provoquant une augmentation des incidences de cancer de la prostate ainsi que des troubles neurologiques, hépatiques, endocriniens et reproducteurs [2]. Son utilisation prolongée après l'interdiction américaine (1976) aggrave la crise environnementale et sanitaire [3]. Il est urgent de développer un processus de remédiation fiable pour les sols contaminés. De telles recherches nécessitent la disponibilité de composés standards bien caractérisés, correspondant à des métabolites potentiellement formés lors des processus de réhabilitation. Par conséquent, il est essentiel de mettre en place des voies de dégradation contrôlées permettant la production ciblée de ces métabolites. Comprendre la toxicité de ces métabolites est également crucial. L'objectif est de déstabiliser la structure de la CLD afin de générer des métabolites moins ou non toxiques et d'identifier les produits de dégradation générés. De plus, l'évaluation de la toxicité des métabolites de la chlordécone est essentielle pour s'assurer que les stratégies de remédiation ne génèrent pas par inadvertance des produits de transformation présentant une toxicité égale ou supérieure à celle des composés parents. Dans ce contexte, comprendre la diffusion passive de la chlordécone et de ses produits de transformation est crucial pour évaluer leur potentiel de pénétration cellulaire et d'exposition biologique.

Matériel et méthodes

Trois stratégies de dégradation de la chlordécone (CLD) ont été testées à 25 °C : (1) sous atmosphère inerte (N₂, EtOH, 30 mL) — IA1 : CLD 1,33 mM, Zn 264 mg, VitB12 4,52 mg, 48 h; IA2 : CLD 0,37 mM, Zn(0) 220 mg, VitB12 4,01 mg, 48 h; IA3 : CLD 0,38 mM, Zn 223 mg, VitB12 2,40 mg, 144 h; (2) photodégradation (cyclohexane, 5 mL) — P1 : UV-C 280 nm, 1 h, CLD 0,265 mM; P2 : LED 450 nm, 15 h, CLD 0,159 mM; (3) électrosynthèse (ElectraSyn, électrodes carbone, TBAPF6, 0,01 F·mol⁻¹, ±10 V, alternance 1 min, 48 h, CHCl₃ ou EtOH) — ER: réduction 48 h, CLD 8,61 mM; EO: oxydation 48 h, CLD 8,49 mM; ERO/EOR: 24+24 h (CLD 8,21 / 4,12 mM); ERV1/ERV2 (avec VitB12 réduit, EtOH): CLD 2,75 / 6,11 mM. Des simulations de dynamique moléculaire (DM) ont été menées afin d'investiguer la diffusion passive de la chlordécone et plusieurs de ses métabolites (chlordécol, pentachloro-1H-indène et l'acide indène-3-carboxylique) dans trois types de modèles de bicouche phospholipidiques présentes autour des cellules végétales ou animales [4] : POPC, DOPC, DPPC (128 lipides). Les structures moléculaires ont été obtenues de nos études

précédentes et de la base de données PubChem et les bicouches proviennent d'études publiées dans la littérature [5]. La géométrie des structures moléculaires a été premièrement optimiser d'un niveau DFT et puis leurs charges partielles par le logiciel Gaussian09. Ces structures ont été placées dans un champ de force de type GAFF à l'aide du logiciel Ambertools. Par la suite, ces bicouches ont été placées dans une boîte de forme cubique d'environ 60 - 70 Å et puis solvater. Puis, deux mêmes produits (chlordécone ou métabolite) ont été placés de part et d'autre dans les compartiments aqueux de la membrane phospholipidique. Après les paramétrages des conditions standards, les différentes simulations de dynamique moléculaire de 250 nanosecondes ont été effectuées à une température de 300 K et 1 bar par le logiciel GROMACS. La visualisation DM de la trajectoire des molécules dans la membrane a été analysée avec le logiciel VMD et l'insertion des molécules ont été évaluées par le nombre de molécules d'eau dans un rayon de 3 Å en fonction du temps de simulation.

Résultats et discussion

Les 11 réactions analysées par LC-MS (Orbitrap) ont révélé trois familles de métabolites : A: hydrochlordécones B: polychloroindènes (penta- et tétrachloroindènes) et C: indènes polychlorés carboxylés (perte de 6–9 Cl). Sur les 11 réactions testées, six provoquent l'ouverture de la cage bishomocubane de la chlordécone. Les essais de la photodégradation ont quasiment préservé la CLD (>99% intacte). Les réductions chimiques avec vitamine B12 réduite par Zn(0) ont produit des rendements variables (6–91%) de produits transformés, IA3 étant optimal avec 96% de conversion. IA1 a montré une transformation modérée (40,6%) et IA2 faible (5,4%). L'électrosynthèse oxydante/réductive sans cofacteur (ERO) a donné 22% de conversion, tandis que les modes ER, EO et EOR ont été négligeables (<1%). L'ajout de vitamine B12 réduite en électrosynthèse a fortement amélioré la dégradation: ERV1 72% et ERV2 99%, montrant l'effet catalytique du cofacteur sur l'ouverture de la cage et la déchlorination successive. Ces résultats identifient IA3 et les protocoles avec vitamine B12 réduite comme les plus adaptés pour produire des métabolites à isoler et caractériser en vue d'analyses toxicologiques et de standards analytiques.

Les simulations de dynamique moléculaire montrent que la chlordécone hydraté peut s'insérer dans la membrane lipidique tout en restant majoritairement localisée au niveau de l'interface bicouche-eau. À l'inverse, le chlordécol, principal métabolite humain de la chlordécone, et traverser plus facilement la membrane, de même que le pentachloroindène. En revanche, le métabolite dont la cage est totalement ouverte et totalement déchloré, soit l'acide indène-3- carboxylique, pénètre dans la membrane mais reste principalement localisé à l'interface bicouche-eau. L'acide indène-3-carboxylique demeure surtout à l'interface. Des analyses physico-chimiques restent nécessaires pour confirmer la nature des interactions.

Références bibliographiques

- [1] Y. Oulhote, F. Rouget, L. Michineau, C. Monfort, M. Desrochers-Couture, J.P. Thomé, P. Kadhel, L. Multigner, S. Cordier, and G. Muckle, 2023. « Prenatal and childhood chlordecone exposure, cognitive abilities and problem behaviors in 7-year-old children: the TIMOUN mother-child cohort in Guadeloupe », *Environ. Health*, 2023, p. 21
- [2] Y.-M. Cabidoche, R. Achard, P. Cattin, C. Clermont-Dauphin, F. Massat, et J. Sansoulet, « Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residue », *Environ. Pollut.*, 2009, p. 1697-1705.
- [3] S. S. Epstein, « Kepone-Hazard evaluation », *Sci. Total Environ.*, 1978, p. 1-62.
- [4] Hughes, Z.E., Mark, A.E. et Mancera, R.L. (2012) « Molecular Dynamics Simulations of the Interactions of DMSO with DPPC and DOPC Phospholipid Membranes », *The Journal of Physical Chemistry B*, 116(39), p. 11911-11923
- [5] C.J. Dickson, R. C. Walker, and I. R. Gould « Lipid21: Complex Lipid Membrane Simulations with AMBER », *Journal of Chemical Theory and Computation* 2022 18 (3), 1726-1736

Déchloration réductrice de la chlordécone en conditions anaérobies : transformation par KB-1 et perspectives issues de microcosmes de sol et sédiment

Idris Umar Zungum¹, Aiden Zhaoxiang Liu², Gaëlle Gruel¹, Liam Foyle², Line Lomheim², Kristýna Žáčková³, Elona Ousselin³, Olivier Gros³, Elizabeth A. Edwards², Sarra Gaspard^{1*}

¹ Laboratoire COVACHIM-M2E, Université des Antilles, 97150 Pointe à Pitre, Guadeloupe

² Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, BioZone, University of Toronto

³ UMR ISYEB, Université des Antilles, 97150 Pointe à Pitre, Guadeloupe

* sarra.gaspard@univ-antilles.fr

♦ Messages-clés :

- Le consortium KB-1 a transformé la chlordécone en métabolites déchlorés (pentachloroindène et Carb-DiCIN) sur deux cycles successifs d'alimentation.
- Les microcosmes de sols et sédiments contaminés ont révélé un enrichissement de taxons anaérobies potentiellement impliqués dans la transformation de la chlordécone (*Dehalobacterium*, *Desulfomonile*, *Smithella* et *Methanothrix*).
- Les prédictions fonctionnelles (PICRUSt2) suggèrent un enrichissement des voies de biosynthèse et d'activation des corrinoïdes (vitamine B12), soutenant une possible déchloration réductrice dépendante des corrinoïdes.
- Les résultats soutiennent le développement de stratégies de bioaugmentation anaérobie pour la remédiation durable des environnements contaminés par la chlordécone.

Mots-clés : *chlordecone, dégradation anaérobie, 16S rRNA gene metabarcoding, bioremédiation, cobalamine (vitamine B12)*

Contexte et enjeux

Chlordecone, a highly persistent organochlorine pesticide extensively used in the French West Indies until 1993, remains a major environmental and public health concern due to its exceptional chemical stability and long-term persistence in tropical soils and sediments (Cabidoche et al., 2009). Its polychlorinated cage structure renders it resistant to aerobic degradation; increasing evidence instead indicates that anaerobic microbial communities can promote reductive dechlorination and cage-opening reactions leading to less chlorinated indene derivatives (Della-Negra et al., 2020; Lomheim et al., 2020, 2021; Martin et al., 2023). However, the microbial guilds responsible and the conditions required to sustain their activity across contrasting environmental matrices remain poorly characterised. Understanding both engineered and indigenous anaerobic transformation pathways is therefore essential for developing sustainable in situ remediation strategies adapted to contaminated tropical ecosystems.

Matériel et méthodes

Anaerobic biodegradability study of chlordecone was conducted using different mixed bacterial cultures. The first culture (MC1), developed by the BioZone laboratory, is known for its ability to degrade organochlorine compounds. The second culture (MC2) was derived from anaerobic microcosms prepared from chlordecone-contaminated soils of Guadeloupe and has demonstrated the capacity to degrade lindane. Both mixed cultures were incubated with chlordecone in the presence of electron donors (ethanol and acetone), and the kinetics of reductive dechlorination and metabolite formation were monitored by LC-MS. In parallel, the transformation potential of the *Dehalococcoides*-enriched KB-1 culture (Duhamel et al., 2004, Edwards & Grbic-Galic, 1994.) was evaluated under repeated chlordecone feeding cycles. Both mixed cultures were incubated in 120 mL serum bottles containing 115 mL of culture medium under strictly anaerobic conditions at 25–26 °C and amended with chlordecone at an initial concentration of 3.1 µM. Ethanol and acetone were supplied as electron donors. Cultures were maintained as shaken batch microcosms, and chlordecone transformation and metabolite formation were monitored by LC-MS. Co-amendment assays with trichloroethene (TCE) were performed to evaluate the activity of canonical organohalide respiration pathways. Complementary sediment of 120ml microcosm experiments were established using mangrove and freshwater sediments under strictly anoxic conditions with artificial

groundwater mimicking natural saline and freshwater ecosystems. Microcosm bottles (120 mL) were amended with chlordecone to a final concentration of 20 μM and incubated at pH 7.2 under mesophilic (30 °C) and thermophilic (55 °C) conditions on mechanical shakers. Bacterial community dynamics and chlordecone transformation are being monitored over an eight-month period using 16S rRNA gene metabarcoding and LC-MS analysis, following an experimental approach similar to that described by Martin et al. (2023).

Résultats et discussion

Both MC1 and MC2 demonstrated measurable but low anaerobic dechlorination of chlordecone, confirming that mixed tropical consortia possess intrinsic transformation capacity. LC-MS analyses revealed the formation of partially dechlorinated indene derivatives, consistent with cage-opening pathways previously described. On the other hand, the KB-1 culture successfully transformed 3.1 μM chlordecone within approximately 200 days over two consecutive feeding cycles, demonstrating sustained activity. Metabolites including pentachloroindene and carboxylated dichloroindene (Carb DiCIN) were detected, supporting progressive reductive dechlorination mechanisms. However, chlordecone amendment led to acetate accumulation and selective inhibition of acetoclastic methanogens, while hydrogenotrophic *Methanobacterium* became dominant, indicating restructuring of anaerobic syntrophic networks. In TCE co-amended assays, dechlorination stalled at intermediate stages, suggesting potential inhibition of the *vcrA*-mediated step, possibly due to chlordecone or its metabolites. Amplicon sequencing revealed no significant enrichment of canonical dechlorinators during chlordecone transformation, whereas fermentative populations such as *Acetobacterium*, a known vitamin B12 producer in KB-1, increased, supporting the hypothesis of a possible cobalamin-mediated co-metabolic mechanism.

Ongoing sediment microcosm experiments reveal a microbial shift toward specialised anaerobic taxa potentially associated with chlordecone transformation, including the syntrophic bacterium *Smithella* (0% → 30–32% RA in sea sediment matrices; Liu et al., 1999; Stams & Plugge, 2022) and its methanogenic partner *Methanotrix* (Stams & Plugge, 2019; Rotaru et al., 2023), alongside the putative reductive dehalogenators *Dehalobacterium* (Mägli et al., 1998) and *Desulfomonile* (Holliger et al., 1998; Adrian et al., 2016) the latter enriched specifically in mangrove soil matrices — as well as the iron-cycling *Acidiferrobacter*, the marine sulfate reducer *Halodesulfovibrio*, and, in the freshwater pond matrix, *Sporomusa* (Yan et al., 2013; Lambrecht et al., 2014), all enriched under pyruvate amendment. Notably, the previously dominant sulfate reducers *Desulfobacter* and *Desulfosarcina* were depleted under treatment conditions. Functional gene predictions suggest progressive enrichment of corrinoid biosynthesis and activation pathways (*cobA*, *cobS*, *cobT*, *cobU*, *cbiZ*), supporting a potential role for vitamin B12-dependent reductive dechlorination (Yan et al., 2013; Lambrecht et al., 2014), though these predictions derive from PICRUSt2 and await functional confirmation.

Conclusions et perspectives

These results demonstrate that both engineered and indigenous anaerobic microbial consortia can transform chlordecone, although kinetics remain slow and inhibitory effects on methanogenesis may limit system stability. Future work will focus on bioaugmentation trials using KB-1 to stimulate stalled microcosms established with chlordecone-contaminated Guadeloupe soils. In parallel, anaerobic toxicity assays will quantify the inhibitory effects of chlordecone and its metabolites on methanogenesis using acetate or H_2/CO_2 as selective substrates. As well on-going field experiments at semi-pilot scale, will be improved by integrating mixed culture for engineered bioaugmentation, aiming to set-up sustainable anaerobic remediation strategies for chlordecone-contaminated environments. 16S rRNA profiling revealed a *Smithella*–*Methanotrix* syntrophic consortium ($\rho = 0.908$) as the dominant pyruvate sink in sediment matrices, alongside enrichment of putative dehalogenators (*Dehalobacterium*, *Desulfomonile*, *Halodesulfovibrio*) and *Sporomusa* in the freshwater pond. Community structure was governed by site and matrix type (PERMANOVA $R^2 = 0.449$ and 0.291 ; $p < 0.001$), with competitive methanogenesis identified as a central constraint on dechlorination efficiency.

Références bibliographiques

- Cabidoche, et al. (2009). *Environmental Pollution*, 157(5), 1697–1705. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2008.12.015>
- Della-Negra et al. (2020). *Scientific Reports 2020 10:1*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70124-9>
- Duhamel, et al. (2004). *Applied and Environmental Microbiology*, 70(9), 5538–5545. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.9.5538-5545.2004>
- Edwards, E. A., & Grbic-Galic, D. (1994). *Applied and Environmental Microbiology*, 60(1), 313–322. <https://doi.org/10.1128/AEM.60.1.313-322.1994>
- Lomheim, et al. (2021). *Environmental Science and Technology Letters*, 8(8), 662–667. <https://doi.org/10.1021/ACS.ESTLETT.1C00505>
- Lomheim, L., et al. (2020). *PLOS ONE*, 15(4), e0231219. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0231219>
- Martin, D., et al. (2023) *Science of the Total Environment* 903 (2023) 166345

Evaluation au champ de l'efficacité du biochar de sargasse et du charbon actif DARCO sur la séquestration du chlordécone et de ses métabolites dans un nitisol contaminé : effets sur les propriétés du sol, la diversité des herbacées et le transfert sol-plante

Maguy Dulormne^{1*}, Gaele Gruelle¹, Nicolas Diomar¹, Mathilde Corte¹, Sarra Gaspard², Waking Balaguer Mainviel², Matthieu Delannoy³, Agnès Fourgnier³, Célia Toi¹, Guido Rychen³

¹ Université des Antilles, UMR EcoFoG, CNRS, CIRAD, INRAE, AgroParisTech, Université de Guyane, Pointe-à-Pitre, France.

² Laboratoire COVACHIM-M2E, EA 3592, Université des Antilles, Guadeloupe, France

³ Université de Lorraine, INRAE, L2A, F-54000 Nancy, France

* maguy.dulormne@univ-antilles.fr

◆ Messages-clés :

- Amélioration significative des propriétés physicochimiques du sol grâce à deux amendements : biochar de sargasse et charbon actif.
- Séquestration efficace du chlordécone, et du 5b-hydrochlordécone par les amendements.
- Réduction significative du transfert du chlordécone vers les plantes.
- Le charbon actif est sensiblement plus efficace que le biochar pour limiter le transfert de contaminants vers le taro.

Mots-clés : 5b-hydrochlordecone, chlordécol, espèce phytoindicatrice, remédiation du sol, richesse spécifique

Contexte et enjeux

La contamination persistante des sols par le chlordécone constitue un enjeu majeur pour la sécurité alimentaire dans les Antilles françaises. Parmi les solutions envisagées, les amendements carbonés, tels que le biochar et le charbon actif, apparaissent comme des outils prometteurs pour immobiliser le contaminant dans les sols. Toutefois, leur efficacité en conditions tropicales réelles reste peu documentée. Des travaux récents ont montré que des biochars issus de sargasses pouvaient réduire significativement la disponibilité du CLD en laboratoire, mais aucune étude n'avait encore évalué ces matériaux carbonés directement en plein champ, ni mesuré leurs effets sur les plantes, la fertilité des sols ou la diversité végétale.

Cette étude visait à tester, en conditions réelles, l'efficacité de deux amendements carbonés appliqués à 2 % dans un Nitisol tropical contaminé : un biochar dérivé de sargasses (BCS) et un charbon actif commercial (ACD). L'objectif principal était de comparer leur capacité à réduire le transfert du CLD et de ses métabolites vers le taro (*Colocasia esculenta*), utilisé comme plante indicatrice. Les effets sur la fertilité du sol, la croissance du taro et la diversité de la flore herbacée ont également été évalués.

Matériel et méthodes

L'expérimentation a été menée sur un Nitisol contaminé en chlordécone à Trois-Rivières (Guadeloupe), où 20 loges de 40 x 40 cm, que nous appellerons microparcelles, ont été aménagées pour tester deux amendements carbonés : un charbon actif commercial DARCO® (ACD) et un biochar issu de sargasses (BCS), appliqués à 2 % de poids sec sur les 20 premiers centimètres de sol. Ce taux couramment utilisé a montré des niveaux d'adsorption de contaminant intéressant tout en étant économiquement viable.

Trois mois et demi après l'amendement, des échantillons de sol ont été analysés pour leurs propriétés physicochimiques, leur humidité et leurs concentrations en CLD et métabolites, selon des méthodes normalisées. Le laboratoire Terana Drôme a réalisées les dosages du CLD et de ses métabolites autant dans le sol que dans les tissus végétaux. Des observations SEM-EDX ont complété la caractérisation des amendements et du sol. Par ailleurs, *Colocasia esculenta* a été choisi pour être cultivée dans chaque microparcelle. Cette espèce est connue pour accumuler le chlordécone dans son système racinaire, il est ainsi un bon marqueur du potentiel de transfert sol-plante. Les caractères morphométriques ont été évalués après 3 mois de croissances, ainsi que la biomasse et la teneur en CLD. La biomasse et la diversité

de la flore herbacée spontanée ont également été suivies. Les analyses statistiques ont été réalisées sous R, en appliquant une ANOVA ou un test non paramétrique selon les conditions de normalité et d'homogénéité.

Résultats et discussion

Les deux amendements carbonés ont fortement réduit la biodisponibilité du CLD et CLD5b dans le sol (CLD : 2764 µg/kg pour UA, 1182 µg/kg pour BCS, <5µg/kg pour ACD ; CLD5b : 92 µg/kg pour UA, 24 µg/kg pour BCS, <5µg/kg pour ACD). Le charbon actif (ACD) a montré l'efficacité la plus élevée, avec près de 100 % de CLD et CLD5b séquestrés, tandis que le biochar de Sargasses (BCS) a également diminué les concentrations du sol de 57 et 74%, mais de façon plus modérée. Cette réduction s'est traduite par une baisse marquée de l'accumulation de CLD dans les racines de *Colocasia esculenta* (-81 % avec ACD ; -55 % avec BCS) ainsi que dans les parties aériennes. Le taro a confirmé son rôle d'espèce sentinelle, accumulant fortement le CLD même lorsque celui-ci est peu détectable dans le sol.

La diversité et la biomasse des herbacées n'ont pas été modifiées à moyen terme par l'apport d'amendements. Plus largement sur le plan agronomique, aucun amendement n'a freiné la croissance du taro, et le BCS a même amélioré certaines propriétés du sol (calcium, magnésium, bore, pH), tandis que l'ACD a augmenté l'humidité du sol. Ces résultats confirment que les amendements carbonés peuvent réduire la contamination des plantes sans compromettre la productivité ni la diversité végétale. Toutefois, les concentrations résiduelles dans les racines demeurent supérieures au seuil réglementaire, indiquant que ces techniques doivent être envisagées comme mesures complémentaires, nécessitant des apports réguliers et une sélection adaptée des cultures.

Références bibliographiques

- Bertrand M., Delannoy M., Dulormne M., Gruel G., Soligot C., Gasard S., Balaguer W., Fournier A., Rychen G., 2026 In situ and in vitro evaluation of a technique for sequestering chlordecone in contaminated nitisol using activated carbon and Sargassum biochar. *Journal of Soils and Sediments*, 26(4)
- Cabidoche, Y. M., Lesueur-Jannoyer, M. (2012). Contamination of harvested organs in root crops grown on chlordecone-polluted soils. *Pedosphere*, 22(4), 562-571. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60041-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60041-1) chlordecone-polluted soils. *Pedosphere*, 22(4), 562-571.
- Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M., Bastos, A.C., 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 144, 175–187.
- Steiner, C., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J.L.V., Blum, W.E.H., et al. 2007. Long Term Effects of Manure, Charcoal and Mineral Fertilization on Crop Production and Fertility on a Highly Weathered Central Amazonian Upland Soil. *Plant and Soil*, 291, 275-290.
- Stephan, P., Gaspard, S., Dulormne, M., Francoeur, M., Melyon, S., Hartmeyer, P., Rychen, G., Delannoy, M., 2024. Antillean contaminated soils amendment with microwave prepared Sargassum biochar: A promising solution to reduce chlordecone transfer to laying hens and piglets? *Chemosphere* 359, 142041.

Évaluation *in situ* et *in vitro* d'une technique de séquestration par charbon actif et biochar de Sargasses d'un nitisol chlordéconé issu d'un jardin de particulier

Guido Rychen^{1*}, Marie Bertrand¹, Matthieu Delannoy¹, Maguy Dulormne³, Gaëlle Gruel^{2,3}, Claire Soligot¹, Sarra Gaspard², Waking-Balaguer Mainviel², Agnès Fournier¹

¹ UL, INRAE, Nancy L2A, F54000, France

² Laboratoire COVACHIM-M2E, Université des Antilles, Campus de Fouillole BP 250, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe 97157, France

³ UMR EcoFoG, Université des Antilles, Campus de Fouillole BP 250, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe 97157, France

* guido.rychen@univ-lorraine.fr

♦ Messages-clés :

- L'amendement (2%) d'un sol contaminé par du charbon actif DARCO® permet de séquestrer efficacement la chlordécone.
- Le biochar de sargasses constitue une alternative avec une performance limitée, du fait de caractéristiques physico-chimiques moindres.
- Les performances de séquestration observées *in vitro* (conditions contrôlées) et *in situ* (conditions naturelles) sont comparables.

Mots-clés : chlordécone, charbon actif, biochar, séquestration

Contexte et enjeux

La séquestration de la chlordécone dans les sols contaminés est envisagée comme une stratégie prometteuse pour réduire la biodisponibilité de la chlordécone (CLD), en limitant sa mobilité vers l'eau, les plantes et les organismes vivants. Dans les publications récentes, en conditions de laboratoires, deux matériaux carbonés ont été évalués favorablement: (i) le charbon actif (ex. DARCO® : surface spécifique > 800 m²/g, porosité optimale) amendé à 2 % dans un andosol a réduit de 90 % la disponibilité environnementale de la CLD (Stephan et al., 2024) et (ii) les biochars issus de sargasses (pyrolyse à 700°C) ont dans les mêmes conditions (amendement à 2%) réduit la biodisponibilité de la CLD de 43 % (andosols) à 80 % (nitisols) (Stephan et al., 2023). Ainsi, en conditions contrôlées (température, humidité, granulométrie contrôlées ; sols tamisés, humidité fixée à 80 % de la capacité au champ ; incubation de 3–4 mois) il est possible d'évaluer précisément l'efficacité de ces matrices, cependant, elles ne reflètent pas la complexité des agro-écosystèmes naturels. *In situ*, des variables non maîtrisées (fluctuations climatiques, hétérogénéité du sol, interactions avec les biotes) influencent la distribution, la rétention et le transfert de la CLD.

Cette étude vise à comparer l'efficacité de la séquestration de la CLD *in situ* et *in vitro*, suite à l'amendement par deux matrices carbonées (charbon actif DARCO® et biochar de sargasses) d'un nitisol contaminé.

Matériel et méthodes

L'expérimentation a été conduite simultanément en conditions *in situ* et *in vitro*. Un nitisol contaminé par la chlordécone (5.59 mg CLD/kg sol), situé à Trois-Rivières en Guadeloupe, a été sélectionné pour les essais de terrain. Une parcelle d'environ 10 à 14 m² a été préparée par labour et dépierrage afin d'homogénéiser le sol sur les 20 premiers centimètres. Vingt micro-parcelles de 40 × 40 cm ont ensuite été mises en place : huit témoins non amendés, huit amendées avec 2 % de charbon actif DARCO® (Sigma-Aldrich) et trois amendées avec 2 % de biochar de sargasses produit à partir de sargasses par le laboratoire COVACHIM-M2E (Université des Antilles).

Parallèlement, une démarche en laboratoire a été réalisée à partir des mêmes sols prélevés avant et après amendement afin de comparer les résultats obtenus dans les deux conditions. Les sols ont été caractérisés avant traitement et la disponibilité environnementale initiale de la CLD a été déterminée.

Pour les essais *in situ*, les sols ont été amendés à raison de 2 % de matrice carbonée (640 g par micro-parcelle). En laboratoire, 25 g de sol frais ont été amendés avec 0,5 g de matrice carbonée, puis conservés à température ambiante dans des flacons hermétiques.

La disponibilité environnementale de la CLD a été évaluée selon une adaptation du protocole ISO/DIS 16751. Après extraction de la fraction biodisponible à l’aide d’une solution de cyclodextrine, les échantillons ont subi une extraction liquide-liquide suivie d’une analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS).

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R. Pour chaque date de prélèvement, une analyse de variance (ANOVA) suivie d’un test de Tukey-Kramer a permis d’évaluer l’effet des amendements en conditions *in situ* et *in vitro*. Une comparaison entre les deux modalités a ensuite été effectuée à l’aide d’un test de Student sur la disponibilité environnementale relative de la CLD après 90 jours d’incubation.

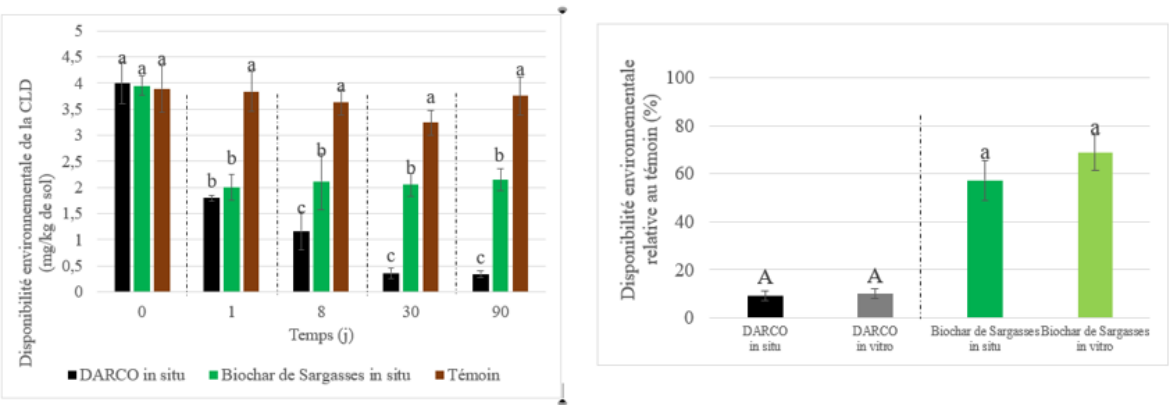
Caractérisation physique du charbon actif DARCO et du biochar de Sargasses (LCPME, 2024)

	Volume total des pore (cm ³ /g)	Surface totale des pores (m ² /g)	Diamètre moyen des pores (nm)
Charbon Actif DARCO	0,73	878	3,32
Biochar de Sargasses	0,29	416	2,75

Résultats et discussion

L’amendement du sol avec le charbon actif DARCO® a montré les meilleures performances de séquestration, réduisant la disponibilité environnementale de la chlordécone (CLD) de plus de 90 % aussi bien en conditions *in situ* qu’*in vitro* après 90 jours d’incubation. Cette efficacité peut être attribuée à sa forte porosité (volume poreux total = 0,73 cm³.g⁻¹) et à sa grande surface spécifique (surface poreuse totale = 878 m².g⁻¹).

L’amendement avec le biochar de sargasses a également permis une séquestration significative de la CLD, avec une réduction d’environ 43 % en conditions *in situ* et de 32 % en conditions *in vitro*. Cette efficacité plus faible par rapport au charbon actif DARCO® s’explique par sa porosité plus limitée (volume poreux total = 0,29 cm³.g⁻¹) et sa surface spécifique plus faible (surface poreuse totale = 416 m².g⁻¹).



L’étude a également montré que les performances de séquestration obtenues en conditions *in vitro* étaient globalement comparables à celles observées en conditions *in situ*, malgré la complexité et la variabilité des conditions naturelles.

Dans l'ensemble, ces résultats confirment le potentiel de matrices carbonées pour la séquestration in situ de la chlordécone dans les sols contaminés. Le charbon actif DARCO® apparaît comme la solution la plus efficace (Bertrand et al., 2026).

Références bibliographiques

Bertrand et al., 2026, Journal of Soils and Sediments, 26-99, <https://doi.org/10.1007/s11368-026-04282-0>

Stephan et al. 2023, Environmental Science and Pollution Research, 305873-5880

Stephan et al. 2024, Chemosphere, 359, 1-8

Dégradation de la chlordécone en méthanisation thermophile : génomes, dynamiques et rôle des archées

Sébastien Chaussonnerie^{1*}, Raphaël Méheust¹, Perla Alnajjar², Agnès Barbance¹, Yves Le Roux^{2,3}, Pierre-Loïc Saaidi¹

¹Génomique Métabolique, Genoscope, Institut François Jacob, CEA, CNRS, Univ Evry, Université Paris-Saclay, 91057 Evry, France. plsaaidi@genoscope.cns.fr

²L2A, Université de Lorraine, 2 Avenue de la Forêt de Haye, 54505 Vandœuvre-Lès-Nancy, France.

³Chaire industrielle Agrométhé Université de Lorraine-ENSAIA, 54280 Champenoux, France.

*sebastien.chaussonnerie@genoscope.cns.fr

♦ Messages-clés :

- L'analyse métagénomique d'un système de méthanisation thermophile déjà décrit (Martin et al., 2023) montre que l'exposition à la chlordécone n'altère pas significativement la structure du consortium bactérien, en cohérence avec le maintien de la production de biogaz observé.
- Les communautés impliquées sont classiques de consortia de méthanisation thermophile.
- Aucune enzyme de type déshalogénase n'a été retrouvée, la dégradation de la chlordécone semble être associée à la présence d'archées méthanogènes, producteurs de cofacteurs de type corrinoïdes/B12 et F430.

Mots-clés : chlordécone, méthanisation thermophile, métagénomique, cofacteurs (B₁₂/F₄₃₀)

Contexte et enjeux

La chlordécone (CLD) est un pesticide organochloré extrêmement persistant, à l'origine d'une pollution environnementale d'ampleur aux Antilles. Un besoin en nouvelles techniques de (bio)remédiation est requis pour accélérer l'élimination de la chlordécone dans l'environnement. En laboratoire, avec des conditions de culture anaérobies particulières, plusieurs bactéries et consortia microbiens sont capables de dégrader la CLD en formant de nombreux produits de transformation (PTs) (Chaussonnerie et al., 2016, Chevalier et al., 2019, Della-Negra et al., 2020), avec un rôle-clé de cofacteurs corrinoïdes (Barbance et al., 2020). Ces résultats suggèrent que la transformation biologique de la chlordécone ne serait pas rattachée à une voie métabolique mais plutôt à un co-métabolisme impliquant des cofacteurs réduits (corrinoïdes, F430) dont la réactivité a été démontrée dans des systèmes abiotiques biomimétiques en conditions réductrices (Chevalier et al 2019, Jablonski et al 1996).

Dans ce contexte, la méthanisation émerge comme une solution très prometteuse : elle met en jeu des consortia microbiens produisant ces mêmes types de cofacteurs et qui auto-entretiennent des conditions réductrices. Ce procédé est aussi déployable à l'échelle industrielle pour traiter des effluents d'élevage et des déchets végétaux contaminés tout en produisant de l'énergie. Une preuve de concept de cette approche a été réalisée récemment avec succès : des digestats de méthaniseur mis en conditions de culture thermophiles ont conduit à une dégradation très efficace de la chlordécone avec un maintien de la production de biogaz (Martin et al., 2023). Le présent travail complète les données acquises : (i) par une caractérisation de la communauté microbienne de ces digestats et (ii) par l'identification des acteurs-clés de la dégradation de la chlordécone à l'aide d'une approche métagénomique.

Matériel et méthodes

Nous avons réalisé des prélèvements à plusieurs temps de l'expérience de biodégradation thermophile décrite par Martin et al. (2023), dans deux conditions : avec CLD (J5, J20, J40) et contrôle sans CLD (J0, J5, J40). L'ADN des communautés microbiennes a été extrait puis séquencé avec la technologie Illumina avec un complément de lectures longues (technologie Nanopore) pour deux échantillons. Les lectures des métagénomes ont été assemblées, et des génomes (Metagenome-Assembled Genomes, MAGs) ont été reconstruits. La composition des communautés a été explorée par analyse en composantes principales (ACP) et l'effet de la CLD a été testé par PERMANOVA. Les contenus en gènes des MAGs ont ensuite été annotés afin d'évaluer la présence de fonctions en lien avec nos hypothèses mécanistiques : voies de

biosynthèse des corrinoïdes (vitamine B₁₂), du cofacteur méthanoène F₄₃₀, et recherche de déshalogénases.

Résultats et discussion

L'approche métagénomique a permis de reconstruire 1 527 MAGs (réduits à 203 génomes représentatifs après suppression des MAGs redondants), offrant une résolution génomique robuste. Le consortium initial présente une structure classique de digesteur thermophile, dominée par des Bacillota (Firmicutes) et organisée autour de guildes fermentaires et syntrophiques. Au sein de cette communauté, prédomine une population bactérienne majeure (DTU010, initialement annotée *Limnochordia*), dont les indices fonctionnels sont compatibles avec une oxydation syntrophique de l'acétate, en association avec l'archée méthanoène hydrogénotrophe *Methanoculleus thermophilus*.

L'évolution de la communauté au cours du temps est majoritairement expliquée par l'incubation (effets du temps et de la consommation des substrats carbonés), avec un effet non détectable de l'exposition CLD/PTs sur la composition. Tout ceci est cohérent avec l'absence d'impact sur le biogaz que nous avons décrit précédemment (Martin et al., 2023).

Le criblage fonctionnel suggère une transformation cofacteur-dépendante : les archées concentrent les fonctions liées aux corrinoïdes (B₁₂) et au cofacteur F₄₃₀, tandis qu'aucune déshalogénase n'a été détectée.

Ces résultats qui étayaient la corrélation entre le potentiel génomique des archées et leur activité de dégradation de la chlordécone appellent à de nouvelles expériences microbiologiques qui confirmeraient les observations faites par Jablonski et collègues (1996). De tels travaux viennent d'être réalisés et sont présentés par Henry et collègues dans le cadre d'une communication orale au colloque. L'ensemble de ces résultats positionne la digestion anaérobie thermophile comme une voie réaliste pour la bioremédiation de biomasses contaminées par la chlordécone.

Références bibliographiques

- Barbance A, Della-Negra O, Chaussonnerie S, Delmas V, Muselet D, Ugarte E, Saaïdi PL, Weissenbach J, Fischer C, Le Paslier D, Fonknechten N. Genetic analysis of *Citrobacter* sp. 86 reveals involvement of corrinoïds in chlordecone and lindane biotransformations. *Front Microbiol.* 2020;11:590061.
- Chaussonnerie S, Saaïdi PL, Ugarte E, Barbance A, Fossey A, Barbe V, Gyapay G, Brûls T, Chevallier M, Couturat L, Fouteau S, Muselet D, Pateau E, Cohen GN, Fonknechten N, Weissenbach J, Le Paslier D. Microbial degradation of a recalcitrant pesticide: chlordecone. *Front Microbiol.* 2016;7:2025.
- Chevallier ML, Della-Negra O, Chaussonnerie S, Barbance A, Muselet D, Lagarde F, Darii E, Ugarte E, Lescop E, Fonknechten N, Weissenbach J, Woignier T, Gallard JF, Vuilleumier S, Imfeld G, Le Paslier D, Saaïdi PL. Natural chlordecone degradation revealed by numerous transformation products characterized in key French West Indies soils. *Environ Sci Technol.* 2019;53(11):6133-6143.
- Jablonski PE, Pheasant DJ, Ferry JG. Conversion of Kepone by *Methanosarcina thermophila*. *FEMS Microbiol Lett.* 1996;139(2-3):169-173.
- Martin DE, Alnajjar P, Muselet D, Soligot-Hognon C, Kanso H, Pacaud S, Le Roux Y, Saaïdi PL, Feidt C. Efficient biodegradation of the recalcitrant organochlorine pesticide chlordecone under methanogenic conditions. *Sci Total Environ.* 2023;903:166345.

A large, faint, light-teal graphic in the background depicts two hands cupping a globe. The hands are positioned on the left and right sides, with fingers slightly curled as if supporting a spherical object in the center. The entire graphic is rendered in a semi-transparent style against the solid teal background.

PARTIE 4

**ATELIERS PARTICIPATIFS – VERS UN
DÉMONSTRATEUR CHLORDÉCONE**

Cadrage de la co-construction du « démonstrateur solutions chlordécone » : les ateliers participatifs comme point de départ de la démarche

Une commande de l'Etat pour un démonstrateur « solutions chlordécone » aux Antilles

Dans le cadre de la stratégie Chlordécone, la Direction générale des Outre-mer (DGOM) et la Direction générale de la Santé (DGS) ont confié au Comité de Pilotage Scientifique National (CPSN) et à la CLoReCA (Coordination locale de la Recherche sur la Chlordécone aux Antilles) une mission d'appui visant à **préfigurer la mise en place d'un démonstrateur territorial « solutions chlordécone » aux Antilles**.

Cette commande s'appuie sur **un constat partagé**. De nombreux travaux scientifiques ont été engagés ces dernières années et ont produit, ou produiront prochainement, des connaissances et des innovations utiles. Dans le même temps, plusieurs acteurs souhaitent expérimenter des solutions de remédiation, de dépollution ou d'évolution des pratiques, mais les conditions permettant de les tester en situation réelle, selon des protocoles harmonisés et dans une approche pluridisciplinaire, restent aujourd'hui insuffisamment structurées.

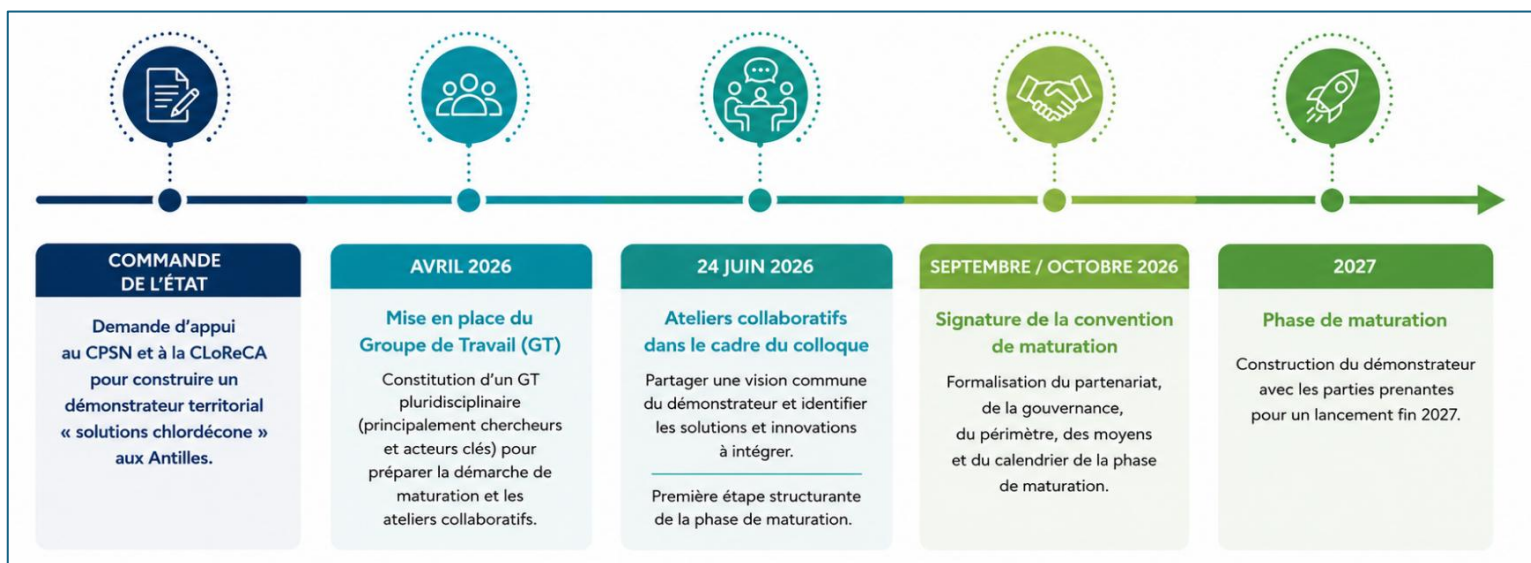
Le **démonstrateur** a ainsi vocation à constituer **un cadre partagé** permettant d'éprouver, sur le terrain, les résultats issus de la recherche, tout en renforçant les coopérations entre les équipes scientifiques, les acteurs économiques, les collectivités, les services de l'État, les professionnels, les associations et les citoyens. Son objectif est de **tester le déploiement de solutions opérationnelles, robustes scientifiquement, acceptables et directement mobilisables**, afin de passer à une logique proactive de maîtrise et de réduction des expositions, dans une perspective de souveraineté alimentaire en Martinique et en Guadeloupe.

La commande rappelle également que le besoin de concrétiser un tel dispositif est aujourd'hui entier et identifie **quatre axes de travail prioritaires** devant guider la préfiguration du démonstrateur :

- **Mettre en place des solutions pour produire une alimentation locale sans chlordécone**, en testant des solutions innovantes en conditions réelles et en accompagnant les changements d'échelle nécessaires pour favoriser une production agricole et alimentaire locale sûre, conforme aux normes sanitaires, économiquement viable et socialement acceptable.
- **Suivre l'évolution individuelle de l'imprégnation à la chlordécone** d'un échantillon de personnes bénéficiaires des dispositifs chlordéconémie et du programme Jafa, afin d'évaluer les impacts ainsi que les freins et leviers aux changements de pratiques individuelles.
- **Déployer une plateforme analytique implantée aux Antilles**, afin de réduire les délais d'obtention des résultats, développer les compétences locales et renforcer les capacités d'analyse, y compris grâce à des méthodes innovantes.
- **Tester une approche innovante de croisement des données disponibles**, portant sur les données environnementales, alimentaires et de santé (« data for health »), afin de constituer une preuve de concept utile à la décision publique et à la gestion des autres pollutions environnementales.

Enfin, la commande confie au CPSN et à la CLoReCA la responsabilité de **conduire une phase de préfiguration ou maturation** destinée à préciser le périmètre du futur démonstrateur, identifier les partenaires à mobiliser, proposer une gouvernance adaptée, définir les livrables attendus, estimer les moyens humains, techniques et financiers nécessaires, ainsi qu'élaborer une proposition de convention de préfiguration. Les ateliers collaboratifs présentés dans ce rapport constituent l'une des premières étapes de cette démarche collective.

Les premières étapes-clés



La tenue du colloque scientifique du 23 au 25 juin 2026 à l'Université des Antilles en Martinique a constitué une opportunité privilégiée pour engager cette réflexion collective. Rassemblant des chercheurs de différentes disciplines, des représentants des institutions, des collectivités et des associations, cet événement offrait un cadre propice pour mobiliser les acteurs autour du projet de démonstrateur, enrichir le diagnostic existant et amorcer une réflexion partagée sur les solutions et innovations susceptibles d'être expérimentées dans les années à venir. **Les ateliers collaboratifs** organisés dans le cadre du colloque constituent ainsi **la première étape de la phase de préfiguration** du démonstrateur.

Afin de préparer ces ateliers, un **groupe de travail « Démonstrateur »** a été constitué en avril 2026. Composé principalement de chercheurs, mais également de représentants institutionnels et d'acteurs locaux, ce groupe avait pour mission d'initier la réflexion sur le concept de démonstrateur et de constituer des « personnes ressources » lors des ateliers. Plusieurs réunions de travail ont ainsi été organisées en amont du colloque afin de construire un socle commun de réflexion. Ces échanges ont notamment permis de :

- partager les différentes approches et définitions de la notion de **démonstrateur** ;
- identifier les **principales composantes nécessaires** à un démonstrateur territorial et distinguer les éléments faisant déjà consensus de ceux nécessitant encore un approfondissement ;
- s'accorder sur le **déroulé des ateliers collaboratifs**.

Cette réflexion préparatoire s'est également nourrie d'un retour d'expérience conduit auprès de l'**Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions (IECP)** de Fos-sur-Mer (<https://www.institut-ecocitoyen.fr/>). Les échanges avec son directeur ont permis de mieux appréhender les conditions de réussite d'un démonstrateur territorial, notamment en matière de gouvernance, de coopération entre les acteurs, de financement, d'ancrage territorial et de valorisation des résultats. Les enseignements issus de cette expérience ont alimenté les travaux du groupe de travail et contribueront à éclairer la conception du futur démonstrateur Chlordécone.



L'ensemble de cette démarche traduit la volonté de **construire progressivement un démonstrateur partagé**, en s'appuyant sur l'expertise scientifique, l'expérience des acteurs de terrain et l'intelligence collective, avant d'engager sa mise en œuvre opérationnelle.

Les ateliers collaboratifs : objectifs et déroulé

Organisés dans le cadre du colloque Chlordécone, les ateliers collaboratifs « *Vers un démonstrateur chlordécone – réflexion croisée autour des innovations et solutions* » du mercredi 24 juin après-midi avaient pour objectif de :

- **Présenter le concept de démonstrateur**
- **Recueillir les premiers retours d'un large panel d'acteurs**
- **Identifier les solutions et innovations susceptibles d'être intégrées en priorité au futur démonstrateur**

Conçus selon une démarche d'intelligence collective, ils se sont articulés en quatre séquences complémentaires tel que présenté dans le tableau ci-après.

Séquence	Objectifs	Contenu
1. Comprendre	➤ Partager une compréhension commune de la notion de démonstrateur territorial Chlordécone ➤ Alimenter la réflexion sur la conception du démonstrateur	Présentation introductive pour expliciter le contexte et la commande de l'Etat (objectifs et enjeux), ainsi que les premières réflexions du groupe de travail. Les éléments présentés ont été repris dans un flyer distribué aux participants, notamment en présentant les 13 composantes potentielles du futur démonstrateur (<i>voir annexe 1</i>). Le traitement des questions de compréhensions et le recueil des « points marquants » (réactions, adhésions, réserves, etc.) s'est déroulé par sous-groupe, en présence d'une « personne-ressource » membre du groupe de travail.
2. Partager	➤ Identifier des solutions et innovations susceptibles d'intégrer le futur démonstrateur ➤ Identifier celles qui sont jugées comme les plus prioritaires	Travail en sous-groupes mixtes (chercheurs / acteurs de terrain / représentants institutionnels) pour identifier collectivement ces solutions. Chaque idée formulée était discutée collectivement puis positionnée sur une matrice croisant deux critères : son impact bénéfique pour la population et sa faisabilité / facilité de mise en œuvre. Pour chaque proposition, les participants ont également identifié ses principaux atouts ainsi que les points de vigilance associés. Enfin, les participants ont pu voter pour les solutions qui leur semblaient prioritaires à déployer dans les deux années à venir.
3. Explorer	➤ Découvrir et enrichir les propositions des autres participants	Restitution itinérante permettant à chacun d'explorer les productions des autres groupes. Les participants étaient invités à croiser les regards, à enrichir certaines propositions et à identifier des convergences entre les différentes contributions.
4. Agir	➤ Partager les retours de ces ateliers ➤ Identifier le souhait d'implication des participants pour la suite de la démarche	Temps de clôture consacré à la synthèse des enseignements et aux perspectives de la phase de maturation. Une fiche distribuée aux participants (<i>voir annexe 5</i>) leur a permis de rendre compte de leurs premières impressions, d'exprimer leur souhait d'implication pour la suite, et d'identifier les acteurs à intégrer dans la poursuite de la démarche.

Aperçu des résultats des ateliers participatifs

[Lien vers le compte-rendu exhaustif des ateliers participatifs](#)

Les ateliers participatifs du 24 juin 2026, organisés dans le cadre du colloque Chlordécone à l'Université des Antilles, ont constitué la **première étape concrète de la phase de maturation** du démonstrateur territorial. Cette note en présente les principaux résultats et les perspectives qu'ils ouvrent pour la phase de maturation à venir.

1. Une mobilisation collective réussie

Les ateliers ont rassemblé des chercheurs (Antilles et Hexagone), des représentants institutionnels, des collectivités, des associations et des acteurs de terrain, dans une démarche d'intelligence collective articulée en quatre séquences : comprendre, partager, explorer, agir.

136 contributions recueillies *sur les composantes du démonstrateur*

43 solutions et innovations proposées *issues du travail en sous-groupes*

50 suffrages exprimés *pour prioriser les solutions*

La préparation en amont a été rigoureuse : constitution d'un groupe de travail en avril 2026, plusieurs réunions préparatoires, retour d'expérience auprès de l'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions (IECP) de Fos-sur-Mer, et co-construction du déroulé entre chercheurs, acteurs institutionnels et locaux. Ce soin apporté à la préparation témoigne de l'importance que l'équipe porteuse accorde à cette démarche.

2. Des résultats riches et une orientation stratégique claire

Un démonstrateur perçu comme outil de déploiement, pas de production de nouvelles techniques

Les participants ont d'emblée réorienté le sens du démonstrateur : plus qu'un lieu de production de nouvelles technologies, il doit être un **cadre permettant de tester, diffuser et accompagner les solutions déjà disponibles**. Cette vision est cohérente avec la commande de l'État et traduit une maturité collective encourageante.

La gouvernance et la coopération : le premier enjeu exprimé

Avec 40 % des contributions, la dimension « agir ensemble » est la plus mobilisatrice. Les participants ont exprimé une forte attente d'une **gouvernance participative**, « **bottom-up** », associant l'ensemble des parties prenantes. La médiation, la circulation des connaissances et la gestion des tensions et controverses ont été identifiées comme des éléments structurants, aux côtés de la représentation des populations les plus exposées.

Sur la prédominance des innovations sociales et de médiation : une force, pas un manque

Les familles « Innovations sociales et organisationnelles » (28 %) et « Médiation, formation et participation » (33 %) concentrent plus de 60 % des propositions et près des deux tiers des votes. On pourrait s'interroger sur la faible représentation des innovations techniques (remédiation des sols : 1 proposition, 2 % ; milieux marins : 2 propositions, 0 vote).

Ce résultat est en réalité un signal fort et positif, pour trois raisons :

- 1- Les innovations techniques et scientifiques (agroécologie, plateformes analytiques, croisement de données de santé) sont bien recensées dans la littérature scientifique et bien présentes dans la commande de l'État. La phase de maturation s'en saisira avec l'appui des équipes de recherche.
- 2- Les innovations sociales, organisationnelles et de médiation sont, à l'inverse, extrêmement difficiles à recenser dans la littérature : elles sont contextuelles, tacites, portées par les acteurs de

terrain. Les ateliers ont précisément capté ce que la recherche bibliographique ne peut pas produire seule.

- 3- L'expérience des démonstrateurs territoriaux montre que les dispositifs qui échouent le font rarement par manque d'innovations techniques : ils échouent parce que les conditions sociales, organisationnelles et de confiance n'ont pas été construites. Les participants ont identifié ces conditions comme prioritaires ; c'est un signe de lucidité collective.

3. Les premiers axes opérationnels identifiés

Les votes et discussions ont fait émerger des priorités opérationnelles claires pour les deux premières années du démonstrateur :

- pratiques agroécologiques adaptées aux territoires antillais (20 % des votes)
- création d'une ferme-école démonstrative et renforcement de la formation des futurs agriculteurs
- dispositif d'incubation et d'accompagnement des innovations avant passage à l'échelle
- valorisation des pratiques permettant de produire une alimentation saine sur des territoires contaminés
- communication adaptée, accessible et positive à destination des différents publics
- développement de la traçabilité et de la sécurisation des filières alimentaires

Ces priorités combinent à la fois un impact élevé sur les populations et une faisabilité à court terme ; deux critères sur lesquels les participants ont été explicitement invités à se prononcer.

4. Une démarche rigoureuse, mais qui requiert de l'espace pour expérimenter

La qualité des ateliers et la richesse des contributions démontrent que l'équipe porteuse dispose des moyens méthodologiques pour conduire une phase de maturation sérieuse. Plusieurs éléments en témoignent :

- **Démarche construite depuis avril 2026 avec des acteurs diversifiés.** Une démarche progressive et structurée.
- **Grâce à la mobilisation d'acteurs locaux dans la conception même des ateliers.** Un ancrage territorial réel.
- **Auprès de dispositifs comparables (IECP de Fos-sur-Mer).** Un retour d'expérience capitalisé.
- **Notamment sur la gouvernance et la gestion des controverses.** Une capacité à produire du consensus ET à faire remonter les tensions.

Pour autant, la phase de maturation ne peut fonctionner correctement qu'à une condition : que le cadre lui laisse la liberté nécessaire pour explorer, tester et, le cas échéant, ajuster. Quelques principes méritent d'être explicitement reconnus par l'ensemble des parties :

- **Accepter leur horizon de long terme.** Certaines solutions identifiées (tests rapides de détection, gouvernance innovante, unités d'analyse mobiles) sont prometteuses mais complexes à mettre en œuvre à court terme (moins de deux ans).
- **Maintenir l'ouverture du groupe.** La diversité des acteurs à mobiliser (agriculteurs, pêcheurs, élus, associations de santé, etc.) ne peut être arrêtée à l'avance, d'autres acteurs peuvent émerger en cours de route.
- **Reconnaître le droit à l'échec.** Des innovations échoueront lors de la phase pilote, c'est la condition même d'un démonstrateur : il ne démontre pas ce qui est déjà acquis.
- **Nommer les incertitudes plutôt que les dissimuler.** Les résultats ne seront pas tous connus à l'issue de la maturation.