

COLLOQUE SCIENTIFIQUE
"CHLORDÉCONE, COMPRENDRE & AGIR"
23 • 24 • 25 juin 2026

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

Conférence introductive — Session 1

SAINT-HILAIRE Maïlie, Responsable de la plateforme C2AS à l'Institut Pasteur de la Guadeloupe

Introduction

- **1975 à Hopewell aux USA[1,2]** : Premières mesures de la CLD dans le sang des ouvriers

➔Suivi clinique, analyse des conditions de travail et des concentrations en CLD sur le site

- **Dans les années 1990 aux Antilles Françaises** : Premières mesures dans les eaux de distribution révélant des concentrations en CLD 100x supérieures aux normes

➔ Eclatement du scandale sanitaire et déclenchement des plans CLD successifs

Un postulat fondamental structure l'approche de cette contamination et cette conférence introductive du colloque chlordécone « Comprendre et Agir » :

« sans mesure, pas de compréhension ; sans compréhension, pas d'action »

Cette conférence s'appuie en partie sur le chapitre 2 de l'ouvrage
Chlordécone aux Antilles. Une approche One Health en construction coordonnée, Éditions Quæ

Sommaire

01 La mesure, un outil de décision du quotidien

02 Comment s'est construite la mesure de la chlordecone au cours du temps ?

03 Les manquements en 2022

04 Les avancées depuis 2022

05 Les enjeux analytiques pour la prochaine décennie

La mesure, un outil de décision du quotidien

01 La mesure, un outil de décision du quotidien

Trois exemples d'utilisation de la mesure comme un outil de décision

	Qualité des eaux destinées à la consommation humaine	Chlordéconémie humaine	Analyses alimentaires
			
Mesure	➔ Dosage de la CLD dans les eaux	➔ Dosage de la CLD dans le sang	➔ Dosage de la CLD dans la graisse animale
Limites	➔ Limites et références de qualités pour les pesticides à **0,10 µg/L**	➔ Valeur Toxicologique de Référence interne (VTRi) définie par l'ANSES à **0,40 µg/L**	➔ Limites Maximales des Résidus (LMR) dans les denrées alimentaires de **0,020 mg/kg**
Décision	➔ Déclaration de conformité	➔ Accompagnement gratuit et personnalisé	➔ Déclaration de conformité de la carcasse

01 La mesure, un outil de décision du quotidien



MILIEU
- Température
- Humidité
- Contamination de l'air



MATIERE
- Effets matrice
- Hétérogénéité
- Conditions de stockage

MATERIEL
- Sensibilité
- Maintenance
- Conditions d'analyse



MESURE
Attribution d'une valeur numérique à une grandeur
Toujours associée à une incertitude



METHODE
- Préparation des échantillons
- Taux de récupération
- Etalonnage

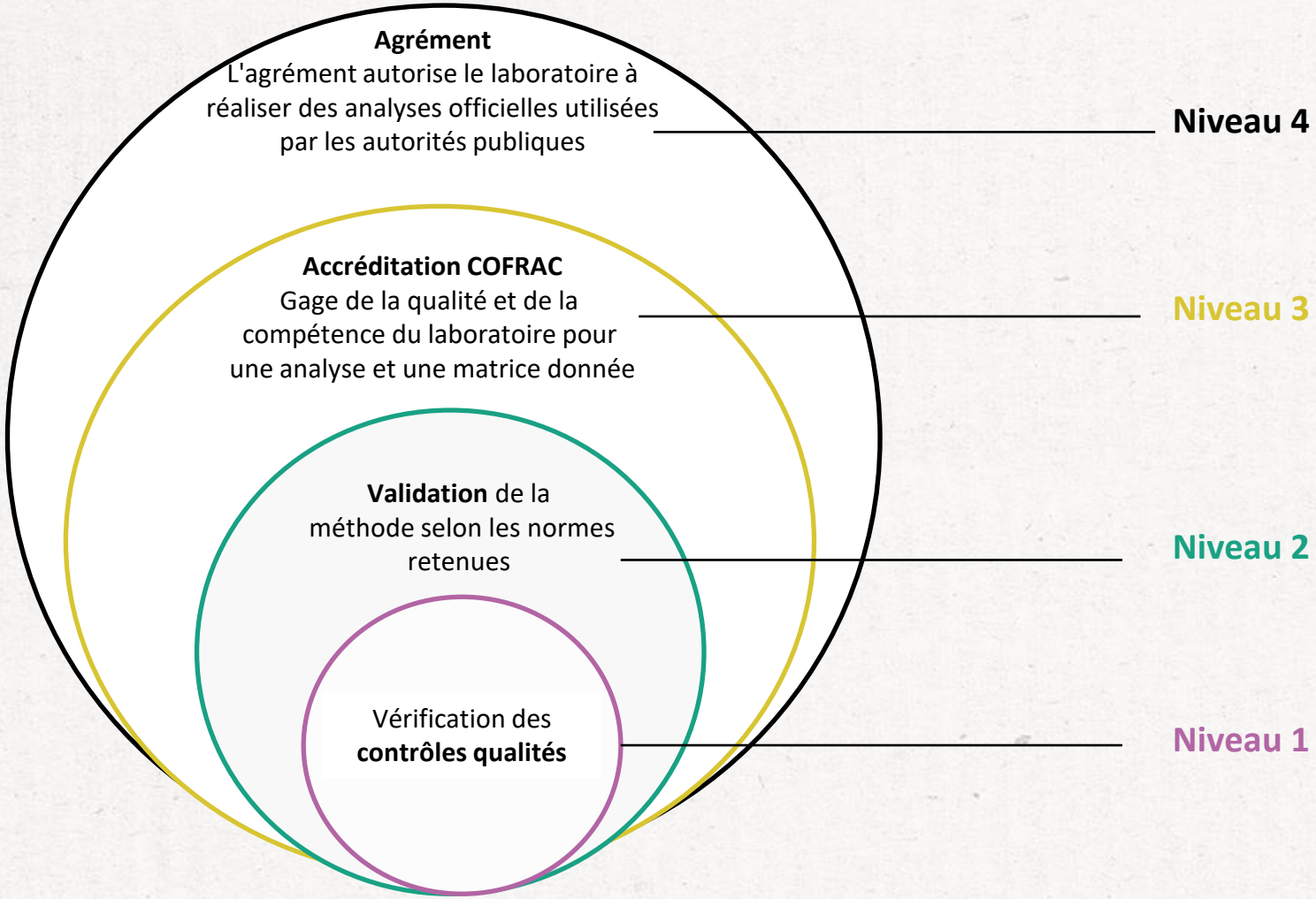
MAIN D'OEUVRE
- Manipulations
- Formation/Expertise
- Respect du protocole



Diagramme 5M ou d'Ishikawa

Maîtriser tous ces facteurs, c'est garantir des résultats fiables et comparables

01 La mesure, un outil de décision du quotidien

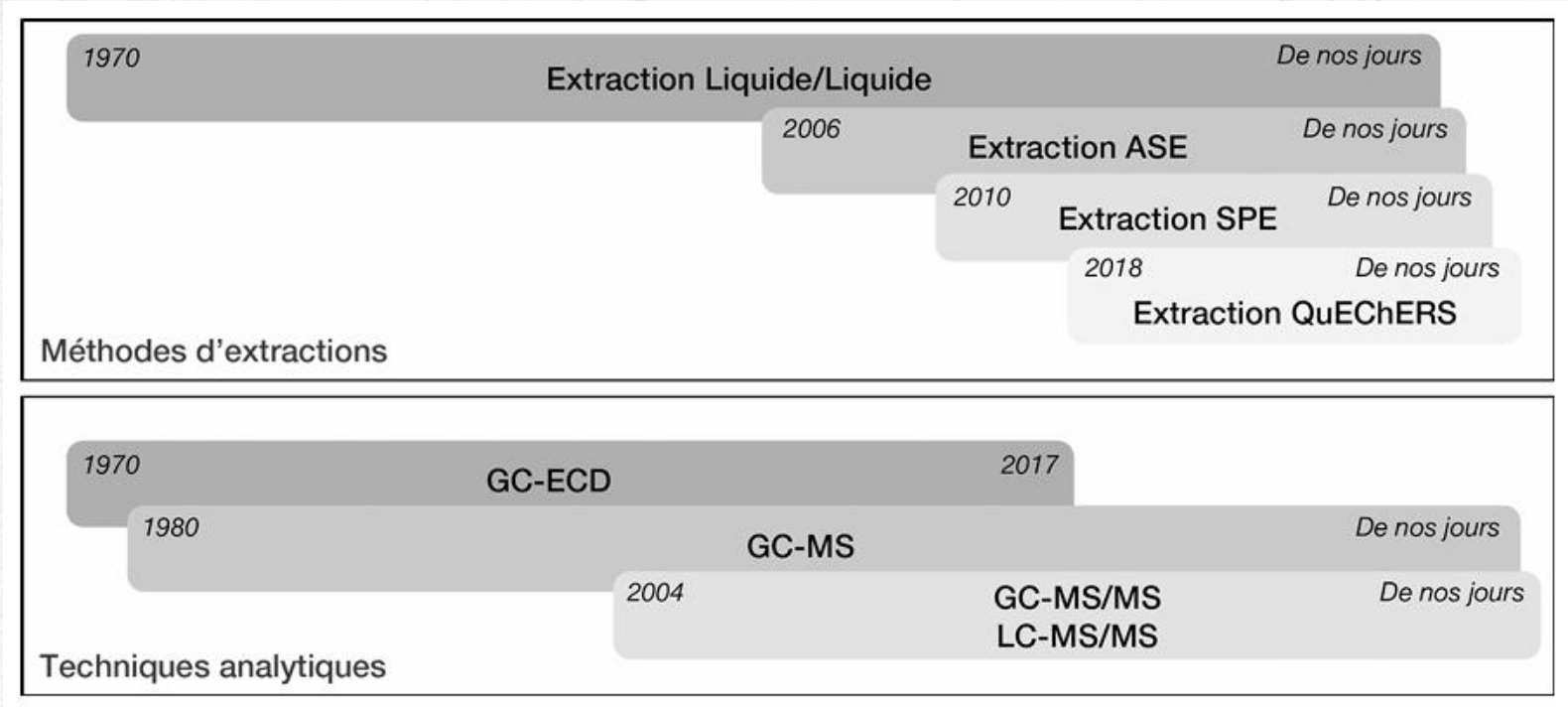


Comment s’est construite la mesure de la CLD au cours du temps ?

02 Construction de la mesure dans le temps

Evolution des méthodes d'extractions et d'analyses

Premières mesures à Hopewell
➔ Nécessité de développement de méthode d'analyse de la CLD dans les matrices biologiques
(US EPA, 1980; Blanke et al, 1977)



02 Construction de la mesure dans le temps

Evolution des performances analytiques

1980[1,2,8,9]		2022[4,5,6,7,10,11,12,11,13,14,15]
Matrices Sang, Eaux de surface, sédiments et sols, fèces, bile, urines, poissons et mollusques	Diversification	**Matrices** Eaux de surface, eaux souterraines, sédiments et sols, sérum, fèces, bile, urine, poissons, mollusques, eaux de mer, lait maternel, tissu gras, viandes et matrices cuites
Prise d'essai 1 à 10 g ou mL matrices biologiques 50 mL à 3 L pour les eaux 10-20g pour les sédiments, sols ou aliments	Diminution de la prise d'essai	**Prise d'essai** PE : 0,6 à 4 g ou mL matrices biologiques 1 mL à 1 L pour les eaux 0,5 à 10g pour les sédiments, sols ou aliments
LOQ 0,02-0,04 µg/L eaux, 5 µg/L dans le sang 10-20 µg/kg dans les sols et aliments	Diminution des LOQs	**LOQ** 0,001-0,03 µg/L eaux, 0,008 à 0,1 µg/L dans le sang, les urines et le lait 1,4 - 5 µg/kg dans les fèces, sols, sédiments et aliments
Incertitude de mesure Uniquement dans le sang 14%	Détermination des incertitudes	**Incertitude de mesure** 12 à 40%
Etalon interne ^{14}C-CLD	Etalon marqué au ^{13}C	**Etalon interne** $^{13}C_{10}$-CLD

02 Construction de la mesure dans le temps

Localisation des analyses

➔ Avant 2009, les analyses se faisaient majoritairement en Hexagone

Une première mission en 2009 faisait état de recommandations concernant une organisation entre les **trois laboratoires antillais** disposant d'une accréditation Cofrac :
- Le Service Commun des Laboratoires de Jarry (SCL)
- L'Institut Pasteur de la Guadeloupe (IPG)
- Le Laboratoire Territorial de la Martinique (LTA)

Mise en avant d'un besoin de **relocalisation des analyses** car plusieurs problèmes avaient été soulevés :
- Délais de rendu des résultats trop longs
- Délais incompatibles avec les conditions de transport

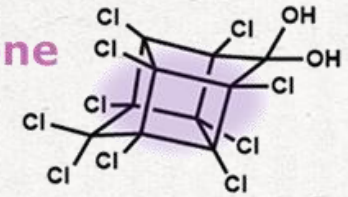
➔ PNAC II : Développement et renforcement des laboratoires antillais

02 Construction de la mesure dans le temps

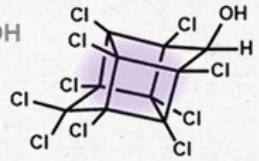
Mesures de CLD et de ses 2 principaux produits de transformation (PTs)

➔ Dans la littérature, la mesure de CLD pouvait s'accompagner de ses deux PTs : le chlordécol (CLDOH) et la 5b-monohydrochlordécone ou encore 10-monohydrochlordécone (A2)

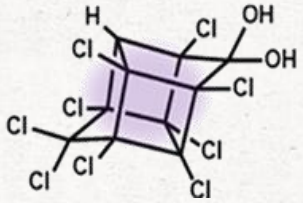
Chlordécone
CLD



Chlordécol
CLDOH



A2



➔ Premières mesures du CLDOH dans les selles et la bile[1,16]
➔ Mesures CLDOH et A2 dans l'eau et les sols par le LDA 26 à partir de 2000
➔ Mesures CLDOH dans les fèces et urines en 2018[14]

02 Construction de la mesure dans le temps

Mise en place des EIL au cours du temps

Pour maîtriser la mesure et accompagner les laboratoires dans le développement, la validation et la comparaison des méthodes, il est important de pouvoir s'appuyer des essais interlaboratoires (EIL).

2010

ANSES
EILA nationaux

Le LSAl de l'ANSES dans le cadre de son mandat national des essais interlaboratoires d'aptitudes (EILA) propose des EILA dans les aliments aux laboratoires agrées sur leur méthodes officielle.

2012

1er EIL français eau
CLD et A2

- 10 laboratoires testés
- Variabilité interlaboratoire de 30%

(*Bristeau et Ghesthem, 2012)*

2013

1er EIL français sols
CLD, A2 et CLDOH

- 11 laboratoires testés
- Variabilité interlaboratoire entre 30% et 58% pour la CLD selon la nature du sol
- Variabilité plus élevée pour ses deux PTs

(Amalric et Bristeau, 2014)

Encore en 2022

EIL quotidiens
CLD uniquement

- AGLAE et BIPEA réalisaient encore en 2022 des EILs uniquement pour la CLD dans l'eau

02 Construction de la mesure dans le temps

- Evolution des méthodes et des techniques depuis 1970 pour un dosage **multi-matrices**, plus **sensible** et avec une diminution de la prise d'essai pour certaines matrices

- Utilisation systématique de l'étalon interne $^{13}C_{10}$-CLD, détermination des **LOQ** et des **incertitudes de mesures**

- Mesures qui pouvaient s'accompagner de dosages du **CLDOH et A2**

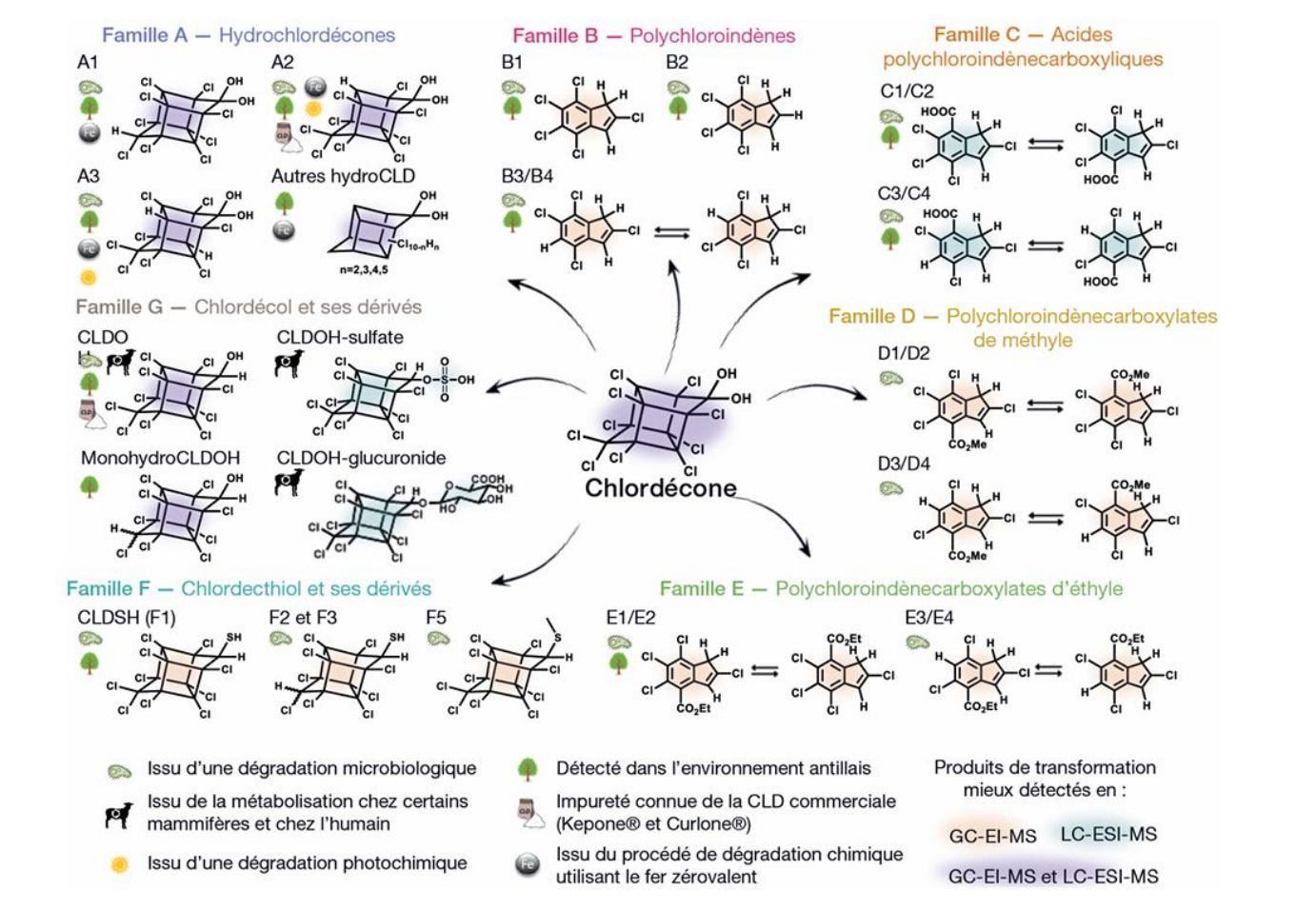
- **Mise en place au cours du temps d'EILA et EIL** permettant une meilleure maîtrise de cette mesure

- Un souhait depuis 2009 de **relocalisation** des analyses aux Antilles

Les manquements en 2022

03 Les manquements en 2022

Mesures de CLD et de ses PTs

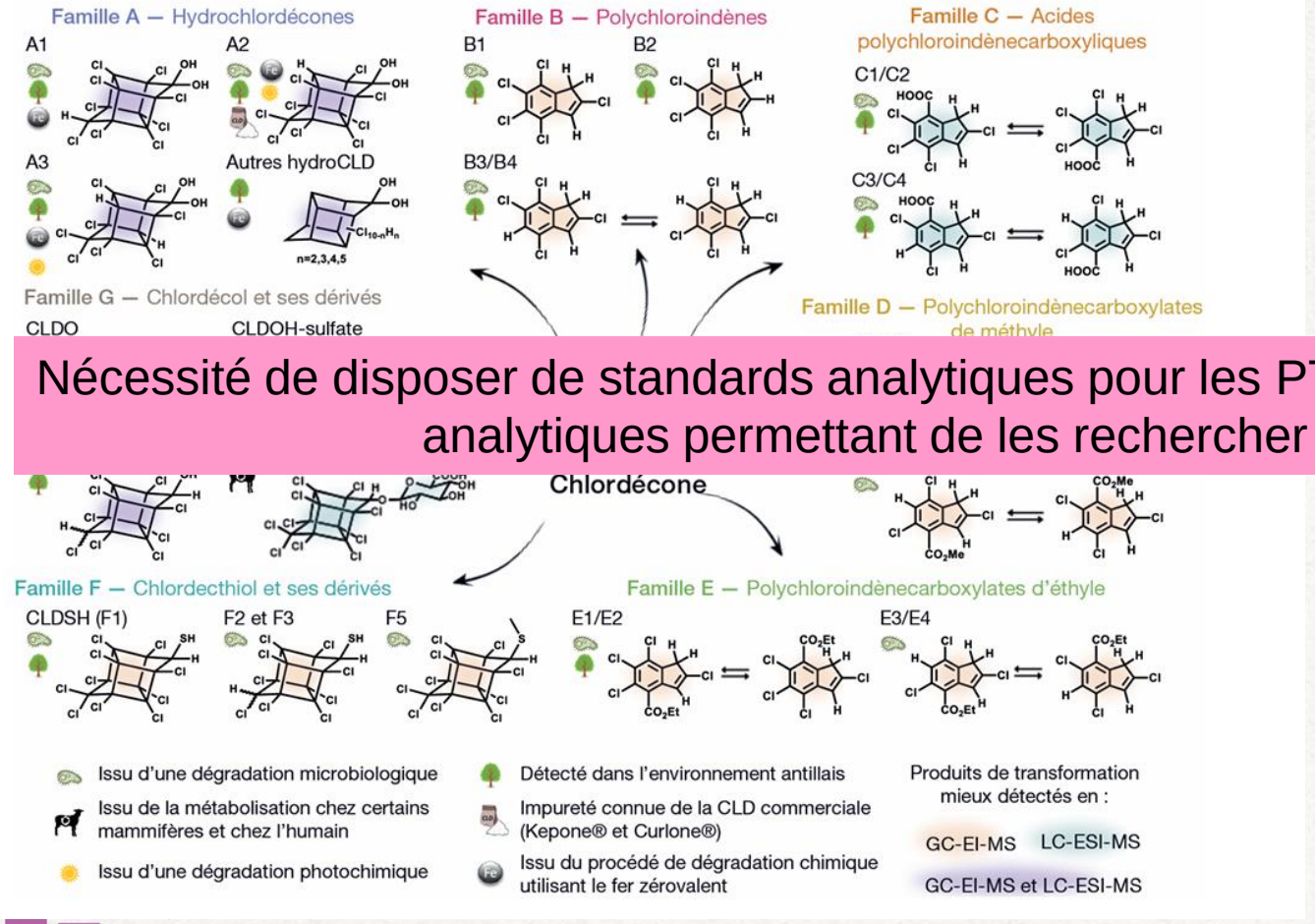


- Mise en évidence par le Génoscope de 7 familles de PTs de la CLD (Chevallier et al., 2019 ; Della-Negra et al., 2020) dans des prélèvements de sols et d'eaux de rivières.

- La mesure de CLD doit être élargie à l'analyse de ses PTs.

03 Les manquements en 2022

Mesures de CLD et de ses PTs



➔ Mise en évidence par le Génoscope de 7 familles de PTs de la CLD (Chevallier et al., 2019 ; Della-Negra et al., 2020) dans des prélèvements de sols et d'eaux de rivières.

Nécessité de disposer de standards analytiques pour les PTs de la CLD et de méthodes analytiques permettant de les rechercher dans les différentes matrices

➔ La mesure de CLD doit être élargie à l'analyse de ses PTs.

03 Les manquements en 2022

EILs pour la CLD et ses PTs

2010

ANSES
EILA nationaux

Le LSAl de l'ANSES dans le cadre de son mandat national des essais interlaboratoires d'aptitudes (EILA) propose des EILA dans les aliments aux laboratoires agrées sur leur méthodes officielle.

2012

1er EIL français eau
CLD et A2

- 10 laboratoires testés
- Variabilité interlaboratoire de 30%

(*Bristeau et Ghesthem, 2012*)

2013

1er EIL français sols
CLD, A2 et CLDOH

- 11 laboratoires testés
- Variabilité interlaboratoire entre 30% et 58% pour la CLD selon la nature du sol
- Variabilité plus élevée pour ses deux PTs

(Amalric et Bristeau, 2014)

Encore en 2022

EIL quotidiens
CLD uniquement

- AGLAE et BIPEA réalisaient encore en 2022 des EILs uniquement pour la CLD dans l'eau

03 Les manquements en 2022

EILs pour la CLD et ses PTs

2010

ANSES
EILA nationaux

méthodes officielle.

anses

2012

1er EIL français
eau
CLD et A2

(*Bristeau et Ghesthem, 2012*)

2013

1er EIL français
sols
CLD, A2 et CLDOH

- Variabilité plus élevée pour ses deux PTs

(*Amalric et Bristeau, 2014*)

Encore en 2022

EIL quotidiens
CLD uniquement

CLD dans l'eau

BIPEA AGLAE

Nécessité de disposer d'EIL et si possible de matériaux de référence pour la CLD et ses deux PTs principaux

03 Les manquements en 2022

Des analyses réalisées majoritairement en Hexagone

- Avant 2022, les analyses étaient encore en **majeures parties réalisées en France Hexagonale** notamment les analyses de sang, de sols, d'eaux et les denrées alimentaires (uniquement pour la Guadeloupe)

- Plusieurs équipes ou institutions ont encore eu des difficultés d'acheminement des échantillons notamment pour la matrice sol

- La mesure R5 du Plan National Chlordécone IV (2021-2027) a encore insisté sur le besoin de **« Mettre en place une plate-forme analytique au niveau local pour la chlordécone et ses métabolites »**

03 Les manquements en 2022

Des analyses réalisées majoritairement en Hexagone

- Avant 2022, les analyses étaient encore en **majeures parties réalisées en France Hexagonale** notamment les analyses de sang, de sols, d'eaux et les denrées alimentaires (uniquement pour la Guadeloupe)

- Plusieurs équipes ou institutions ont encore eu des difficultés d'acheminement des échantillons notamment pour la matrice sol

- La mesure R5 du Plan National Chlordécone IV (2021-2027) a encore insisté sur le besoin de **« Mettre en place une plate-forme analytique au niveau local pour la chlordécone et ses métabolites »**

Nécessité de relocaliser les analyses sur les territoires antillais

Les avancées analytiques depuis 2022

04 Les avancées analytiques depuis 2022

Intensification des mesures aux Antilles avec la chlordéconémie

Ce souhait de mise en place a été un tournant au niveau analytique pour les Antilles

- ➔ Mise en place et validation en 2023 d'une méthode de dosage de la CLD[4] dans le sérum à l'IPG
- ➔ Développement par le CHU de Martinique d'une méthode de dosage de la CLD
- ➔ Les laboratoires privés Cerballiance et Eurofins ont par leur propre initiative mis en place ces méthodes de dosage de la CLD en Martinique

✓ Environ 10 000 dosages ont été réalisés sur les deux territoires en 2024

04 Les avancées analytiques depuis 2022

Mise en place du premier EIL dans la matrice sérique

Le LABERCA[17] en 2024 puis en 2025 a mis en place le premier essai interlaboratoire dans :

- ➔ Le sérum humain
- ➔ Le sérum humain

✓ Les laboratoires antillais et d'Hexagone ont des données comparables sur la matrice sanguine

04 Les avancées analytiques depuis 2022

Collaboration entre les laboratoires antillais

Les laboratoires antillais (IPG, LTA et SCL) réalisent entre eux des essais de comparaisons dans les matrices alimentaires (animales et végétales) pour répondre aux attentes du COFRAC et aussi se comparer lors des développements de méthodes

Echanges de plus en plus réguliers entre ces trois laboratoires qui ont des besoins et des fonctionnements proches bien qu'ayant des différents de statuts (public/privé)

✓ Les résultats des laboratoires antillais sont comparables dans les matrices alimentaires et sont disposés à créer plus de lien

04 Les avancées analytiques depuis 2022

L'Appel à projets I de 2022 a permis de financer des projets de recherche

Synthèse des PTs et détermination de LOQ instrumentales

- Synthèse de standards analytiques

Poster Lormier et al.

Poster Mion et al.

- Evaluation de la pureté des PTs de la chlordécone

Poster Saaidi et al.

- Détermination des LOQ instrumentales des PTs sur différents systèmes analytiques

Poster Scherrer et al.

04 Les avancées analytiques depuis 2022

COLLOQUE SCIENTIFIQUE Chlordécone COMPRENDRE & AGIR

Méthode de dosage de CLD et de ses PTs

- Nouvelle méthode de dosage de la CLD et de ses PTs dans la macrofaune du sol

Poster Christophe et al.

- Nouvelle méthode de dosage de la CLD et de ses PTs dans les sols

Oral Saint-Hilaire et al.

- Développement d'une méthode d'analyse sensible et rapide CLD et CLDOH dans des matrices alimentaires crues et cuites

Oral Lambert et al.
ETUDE CHLOREXPO

04 Les avancées analytiques depuis 2022

COLLOQUE SCIENTIFIQUE Chlordécone COMPRENDRE & AGIR

Développement de méthodes de terrain

- Développement d'anticorps monoclonaux anti-chlordécone pour immunoessais compétitifs

Poster Vives et al.

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

Poster Ranguin et al.

04 Les avancées analytiques depuis 2022

COLLOQUE SCIENTIFIQUE Chlordécone COMPRENDRE & AGIR

Explorations de nouvelles matrices

- Quantification de la chlordécone dans le liquide folliculaire des femmes guadeloupéennes et corrélation avec la matrice sérique — Oral Shitalou et al.

- Faisabilité du suivi de la chlordécone dans les digestats de méthanisation issus des effluents de bovins en décontamination — Poster Scherrer et al.

- Étude exploratoire des pesticides en environnement intérieur tropical : retour d'expérience du projet PestiMar (Martinique) — Poster Guimberteau et al.

04 Les avancées analytiques depuis 2022

COLLOQUE SCIENTIFIQUE Chlordécone COMPRENDRE & AGIR

Elargissement de la mesure chlordécone

- Validation d'une méthode de dosage de la chlordécone et de 14 autres polluants organiques persistants dans le sérum humain

Poster Saint-Hilaire et al.

- Premiers résultats de l'enquête Kannari 2

Oral Ruello et al.

ETUDE KANNARI II

Enjeux analytiques pour la prochaine décennie

05 Enjeux analytiques pour la prochaine décennie

Hormis ceux organisés par BIPEA et AGLAE dans l'eau et uniquement pour la CLD

➔ Pas de circuits interlaboratoires réguliers pour la chlordécone et ses deux PTs (EILs sanguins uniquement en 2024 et 2025)

D'autant plus important car il y a eu une identification de différences importantes entre les mesures des laboratoires dans les eaux souterraines et pour le CLDOH[18]

➔ Pas de fabrication de Matériau de Référence (MR) quelque soit la matrice

Nécessité de mise en place d'EIL et de MR pour la CLD et ses deux PTs principaux à minima dans le sang, les sols, les eaux souterraines et de rivières

05 Enjeux analytiques pour la prochaine décennie

Depuis 2022, échanges de plus en plus importants entre les différents laboratoires sans une vraie structuration

➔ Pas de réponse apportée à la mesure R5

➔ Les laboratoires antillais sont prêts à répondre à la demande

Nécessité de mise en place d'une communauté analytique chlordécone et d'un appui aux développements des laboratoires antillais

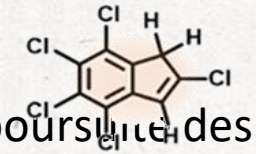
05 Enjeux analytiques pour la prochaine décennie

Actuellement seul le GENOSCOPE et Azur Isotopes sont en capacité de produire des PTs de la chlordécone

Nécessité de mise à disposition d'autres PTs en particulier B1 et C1/C2

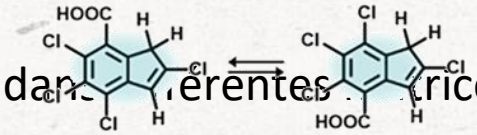
Pentachloroindène

B1



Acides polychloroindènecarboxyliques

C1/C2



➔ Cela permettra la poursuite des recherches de PTs dans différentes matrices d'intérêts et en particulier pour les procédés de dégradation de la CLD

05 Enjeux analytiques pour la prochaine décennie

Plusieurs études intègrent la CLD dans un contexte de multi-exposition
(KANNARI II, KARU-FERTIL, OPALE)

➔ Nécessité de poursuivre cet effort

➔ En lien avec la demande de l'AAP Chlordécone II : « Société et Multi-expositions »

Il sera important de développer des approches non ciblées de type LC-HRMS et GC-HRMS[19]

➔ Des premiers développements ont été réalisés par l'ANSES

Nécessité d'intégrer la CLD dans un contexte de multi-exposition

Conclusion

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.

La mesure est le moteur du cycle
Comprendre ➔ Agir

Les lacunes analytiques sont des angles morts de la décision publique

La prochaine décennie sera celle de la relocalisation, de l'harmonisation et de l'élargissement de la mesure



Merci de votre attention.

Références bibliographiques

1) Usepa, 1980. Manual of Analytical Methods for the Analysis of Pesticides in Humans and Environmental Samples. EPA-600/8-80-038.

2) 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.

3) Chlordécone aux Antilles. Une approche One Health en construction coordonné par P. Benoit, M. Ferdinand, J. Garric, M. Jannoyer, qui sera édité par les Éditions Quæ.

4) 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. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2023.123894.

5) El Balkhi S., Saint-Marcoux F., 2023. Chlordecone determination in serum by LC-MS/MS and the importance of low limit of detection. *Journal of Chromatography B*, 1230:123915. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2023.123915.

6) Saint-Hilaire M., Bertin T., Inthavong C., Lavison-Bompard G., Guérin T. *et al.*, 2018a. Validation of analytical methods for chlordecone and its metabolites in the urine and feces of ewes. *Journal of Chromatography B*, 1093-1094:66-76. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2018.06.058.

7) Bichon E., Guiffard I., Vénisseau A., Marchand P., Antignac J.P., Le Bizec B., 2015. Ultra-trace quantification method for chlordecone in human fluids and tissues. *Journal of Chromatography A*, 1408, 169-177. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.07.013.

8) Moseman R.F., Crist H.L., Edgerton T.R., Ward M.K., 1977. Electron capture gas chromatographic determination of Kepone® residues in environmental samples. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 6(2-3):221-231. https://doi.org/10.1007/BF02097763.

9) Saleh F.Y., Lee G.F., 1978. Analytical methodology for Kepone in water and sediment. *Environmental Science & Technology*, 12(3):297-301. https://doi.org/10.1021/es60139a013.

10) Gonzalez J.L., Allenou J.P., Togola A., Guyomarch J., Tapie N., Budzinski H., 2019. Synthèse des actions de développement et de validation de méthodes d'analyse opérationnelles du chlordécone dans les eaux littorales de Martinique par les techniques d'échantillonnage passif (POCIS et membrane silicone) et par SBSE. Rapport Aquaref, 29 p.

Références bibliographiques

11) Rochette R., Bonnal V., Andrieux P., Cattan 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.

12) Hubas C., Monti D., Mortillaro J.M., Augagneur S., Carbon A. *et al.*, 2022. Chlordecone-contaminated epilithic biofilms show increased adsorption capacities. *Science of the Total Environment*, 825:153942. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153942.

13) 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. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141486.

14) Saint-Hilaire M., Inthavong C., Bertin T., Lavison-Bompard G., Guérin T. *et al.*, 2018b. Development and validation of an HPLC-MS/MS method with QuEChERS extraction using isotopic dilution to simultaneously analyze chlordecone and chlordecol in animal livers. *Food Chemistry*, 252:147-153. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.092.

15) Lavison-Bompard, G., Parinet, J., Huby, K., Guérin, T., Inthavong, C., & Lambert, M. (2021). Correlation between endemic chlordecone concentrations in three bovine tissues determined by isotopic dilution liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Science of The Total Environment*, *788*, 147833. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147833

16) Fariss M.W., Blanke R.V., Saady J.J., Guzelian P.S., 1980. Demonstration of major metabolic pathways for chlordecone (kepone) in humans. *Drug Metabolism and Disposition*, 8(6):434-438. https://doi.org/10.1016/S0090-9556(25)00304-6.

17) **First Inter-Laboratory Study for the Quantification of Chlordecone in Serum Samples: Design, performance and key recommendations (submitted)**

18) Analysis of chlordecone and its transformation products in environmental waters by a new SPME-GC-MS method and comparison with LLE-GC-MS/ MS and LLE-LC-MS/MS: A case study in the French West Indies

19) Martin, D. E., Leblanc, J. C., & Parinet, J. (2025). Suspect and non-targeted screening methodologies for the detection of newly discovered organochlorines: Application to chlordecone in food. *Food Chemistry*, *484*, 144374.