

La Réduction Chimique In Situ pour décontaminer en plein champ un nitisol de bananeraies contenant de la chlordécone

Christophe MOUVET¹, Sébastien COLLET², Sébastien BRISTEAU¹, Mathilde SENERGUES², Jean-Marie GAUDE³, Luc RANGON⁴, Thierry WOIGNIER⁴

¹Brgm, Avenue C. Guillemin, F-45060 Orléans Cedex 2 ; ²Brgm, Villa Bel Azur, 4 Lot. Miramar, Route Pointe des Nègres, F-97200 Fort de France ; ³UR Banana, Plantain and Pineapple Cropping Systems, CAEC, PERSYST, Cirad, BP 214, F- 97285 Le Lamentin Cedex 2, Martinique ; ⁴IMBE, Aix Marseille Université, CNRS, IRD, Avignon Université, F-13397 Marseille

c.mouvet@brgm.fr

- Session 1 : Comprendre le devenir et les impacts de la contamination dans l'environnement

Si les mécanismes naturels (infiltration, biodégradation...) sont les seuls à opérer, la contamination des sols antillais par la chlordécone (CLD) persistera pendant des décennies voire des siècles selon le type de sol (Cabidoche et al., 2009). Vu les impacts de cette contamination (e. g. Jondreville et al., 2014 ; Multigner et al., 2010, 2016 ; Nedellec et al., 2016), les autorités ont pris des mesures de gestion pour protéger les populations (Achard et al. 2007 ; JORF 2005 ; Préfecture de la Région Guadeloupe, 2010). Il faudrait, en complément, disposer de méthodes validées de décontamination des sols, source primaire de toutes les contaminations observées (organismes vivants, eaux...). Des travaux ont été réalisés dans cet objectif en testant en plein champ un procédé de Réduction Chimique In Situ (RCIS ; ISCR en anglais).

Dans une bananeraie de Martinique, une parcelle de 1 000 m² de nitisol a été divisée en six modalités : pas d'amendement (témoin), ajout dans l'horizon 0 – 30 cm de 4% (poids sec/poids sec) de Fer Zéro Valent (FZV) grossier (30 % < 50 µm) ou fin (98 % < 50 µm), 6 % de l'amendement commercial Daramend, 6 % de Daramend avec de la bagasse au lieu de luzerne, ou 6% d'un mélange FZV grossier et bagasse locale. Tous les amendements ont été incorporés au sol avec des engins agricoles de l'exploitation bananière. Une légère compaction du sol a été réalisée avant la mise en route d'une irrigation intermittente par asperseurs standards. Pendant 3 mois, le potentiel rédox (Eh) du sol a été suivi de manière régulière et des échantillons de sol de l'horizon 0 – 30 cm ont été analysés par GC/MS/MS pour la CLD et ses produits de transformation.

Les potentiels rédox moyens dans le sol sont descendus à - 250 mV trois jours après l'incorporation du FZV fin, certaines valeurs descendant à - 440 mV vs. + 600 mV dans la modalité témoin. La concentration moyenne en CLD dans le sol a baissé dans toutes les modalités traitées, jusqu'à - 69 % avec le FZV fin. Des dérivés de la CLD ayant jusqu'à 4 Cl de moins que la molécule mère sont détectés dans les échantillons de sol, jusqu'à -5, 6- et -7 Cl dans les eaux du sol. Le principal produit de transformation est toujours le même : une mono-hydroCLD qui ne s'accumule pas dans le sol. Les autres principaux produits de transformation sont deux di-hydroCLD, une tri-hydroCLD et une tétra-hydroCLD.

Les taux de transformation de la CLD obtenus par RCIS dans des sols en plein champ (des résultats identiques au nitisol ont été obtenus pour un sol alluvionnaire ; Mouvet et al., 2016) dépassent très largement les 1,2 - 3 % de dégradation microbiologique obtenus dans des sols en laboratoire (Fernandez-Bayo et al., 2013 ; Merlin et al., 2014). Sachant par ailleurs que les 2 principaux produits de transformation de la CLD résultant de la RCIS ne montrent pas d'effet cancérigène ni mutagène et ont un effet proangiogénique moindre que la CLD (Legeay et al., 2017), le procédé de RCIS apparaît donc une voie prometteuse de décontamination des nitisols contaminés par la CLD.

Modalité	Abattement CLD (%)
Témoin	0
FZV "grossier"	54
Dara bagasse	11
Dara Standard	35
FZV "fin"	69
Bagasse/FZV	43

Taux d'abattement de la teneur en CLD dans les 6 modalités 94 jours après l'incorporation des amendements sur la parcelle de nitisol

Références bibliographiques

- Achard R, Cabidoche YM, Caron A, Nelson R, Duféal D, Lafont A, Lesueur-Jannoyer M., (2007). Contamination des racines et tubercules cultivés sur sol pollué par la chlordécone aux Antilles. *Les cahiers du Pram* 7:45–50.
- Cabidoche Y-M, Achard R, Cattan P 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. *Environ Pollut., Barking Essex* 157:1697–1705. doi:10.1016/j.envpol.2008.12.015
- Fernández-Bayo JD, Saison C, Voltz M, Disko U, Hofmann D, Berns AE (2013). Chlordecone fate and mineralisation in a tropical soil (andosol) microcosm under aerobic conditions. *Sci Tot Environ*, 463-464:395–403.
- Jondreville C, Lavigne A, Jurjanz S, Dalibard C, Liabeuf JM, Clostre F, Lesueur-Jannoyer M (2014) Contamination of free-range ducks by chlordecone in Martinique (French West Indies): a field study. *Sci Tot Environ* 493:336–341
- Journal Officiel de la République Française (2005) Arrêté du 5 octobre 2005 relatif à la teneur maximale en chlordécone que ne doivent pas dépasser certaines denrées d'origine animale pour être reconnues propres à la consommation humaine. http://www.observatoirepesticides.gouv.fr/upload/bibliotheque/890950301230666866433863582907/arrete-teneur_maximalechlordecone-5oct05.pdf. Téléchargé le 10 décembre 2016.
- Legeay S., Billat P. A., Clere N., Nessler F., Bristeau S., Faure S., Mouvet C., 2017. Two dechlorinated chlordecone derivatives formed by in situ chemical reduction are devoid of genotoxicity and mutagenicity and have lower proangiogenic properties compared to the parent compound. *Env. Sci. Poll. Res.*, DOI 10.1007/s11356-017-8592-6.
- Merlin C, Devers M, Cruzet O, Heraud C, Steinberg C, Mougou 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 Poll Res* 21(7):4914–4927.
- Mouvet C., Collet B., Gaude J. M., Bristeau S., Rangon L., Lesueur-Jannoyer M., Jestin A., avec la collaboration de Senergues M., Belghit H., Placide S., Clostre F., Marville E., Woignier T., Labrousse Y., Soler A. (2016) - Décontamination par In Situ Chemical Reduction d'un nitisol et d'un sol alluvionnaire pollués par la chlordécone. Résultats physico-chimiques et agronomiques. Rapport final. BRGM/RP-65462-FR, 188 p., 61 ill., 61 tabl., 1 ann. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-65462-FR.pdf>
- Multigner L, Ndong JR, Giusti A et al (2010) Chlordecone exposure and risk of prostate cancer. *J Clin Oncol Off J Am Soc Clin Oncol* 28: 3457–3462. doi:10.1200/JCO.2009.27.2153
- Multigner L, Kadhel P, Rouget F, Blanchet P, Cordier S (2016) Chlordecone exposure and adverse effects in French West Indies populations. *Environ Sci Pollut Res Int* 23:3–8.
- Nedellec V, Rabl A, Dab W (2016) Public health and chronic low chlordecone exposures in Guadeloupe; Part 2: Health impacts, and benefits of prevention. *Environmental Health*. 15:78.
- Préfecture de la Région Guadeloupe (2010). Recueil des actes administratifs. Arrêté n° 2010–721 PREF/DSV du 23 juin 2010 réglementant la pêche et la commercialisation des espèces de la faune marine dans certaines zones maritimes de la Guadeloupe. http://www.guadeloupe.pref.gouv.fr/content/download/3088/17231/file/Arrete_prefectoral_du_23_juin_2010_reglementationchlordecone-peche.pdf. Téléchargé le 14 décembre 2015.

Effets sur trois cultures vivrières de la Réduction Chimique In Situ appliquée pour décontaminer des sols de bananeraie contenant de la chlordécone

Christophe MOUVET¹, Sébastien COLLET², Jean-Marie GAUDE³, Luc RANGON^{4,5}, Magalie. LESUEUR-JANNOYER³, Alexandra JESTIN³, avec la collaboration de Mathilde SENERGUES², S. PLACIDE³, Françoise CLOSTRE³, Eliane MARVILLE³, Thierry WOIGNIER^{4,5}

¹Brgm, Avenue C. Guillemin, F-45060 Orléans Cedex 2 ; ²Brgm, Villa Bel Azur, 4 Lot. Miramar, Route Pointe des Nègres, F-97200 Fort de France ; ³UR Banana, Plantain and Pineapple Cropping Systems, CAEC, PERSYST, Cirad, BP 214, F- 97285 Le Lamentin Cedex 2, Martinique ; ⁴Aix Marseille Univ, Univ Avignon, CNRS, IRD, IMBE, F-13397 Marseille ; ⁵IRD UMR 237-Campus Agro Environnemental Caraïbes-B.P. 214 Petit Morne, 97232, Le Lamentin, Martinique

c.mouvet@brgm.fr

- Session 1 : Comprendre le devenir et les impacts de la contamination dans l'environnement

Les légumes contenant de la chlordécone (CLD) sont une des principales voies d'exposition des populations. Pour réduire ce risque, des règles de gestion des cultures sont mises en œuvre avec des accompagnements techniques et financiers (Achard et al., 2007 ; Cabidoche et Jannoyer, 2012). Cette approche ne réduit toutefois nullement les transferts de CLD des sols vers les eaux (et donc les crustacés, poissons...) ou le bétail. Le procédé de traitement par Réduction Chimique In Situ (RCIS) a prouvé son efficacité pour diminuer la contamination de nitisols par la CLD (Mouvet et al., 2016). Par contre, rien n'est connu des caractéristiques agronomiques et sanitaires de végétaux cultivés sur ces sols après traitement. Cette problématique fait l'objet des travaux présentés ici.

Dans un nitisol de bananeraie de Martinique (CLD : $0,7 \pm 0,3$ mg/kg), un procédé de RCIS a été mis en œuvre sur une parcelle contrôle et cinq parcelles se différenciant par l'amendement de RCIS ajouté, 2 modalités de Fer Zéro Valent (FZV) et 3 avec des variantes de l'amendement commercial Daramend. Une modalité avec ajout de compost a permis de comparer les effets de la RCIS à ceux de la séquestration de la CLD. Trois cultures ont été suivies : radis, patate douce et concombre.

L'implantation des cultures a globalement été satisfaisante pour tous les traitements avec > 80 % de germination des radis et > 75 % d'enracinement des boutures de patates douces. Pour les concombres, une forte mortalité des plants (> 80 %) a été observée avec le FZV seul. Pour les radis et concombres, l'ajout de 10 % de compost entraîne un gain significatif de précocité et de rendement.

Les concentrations en CLD des radis sont significativement plus faibles que les témoins dans 3 des 4 modalités RCIS et la modalité compost, avec des valeurs < LMR (20 µg/kg de matière fraîche), limite que dépassent les radis du sol non traité.

Pour les concombres, 3 modalités RCIS et la modalité compost donnent des fruits qui sont à la fois < LMR et < un des deux témoins. Seule la modalité de RCIS amendée par le mélange bagasse + FZV a des concentrations statistiquement plus faibles que celles des deux témoins.

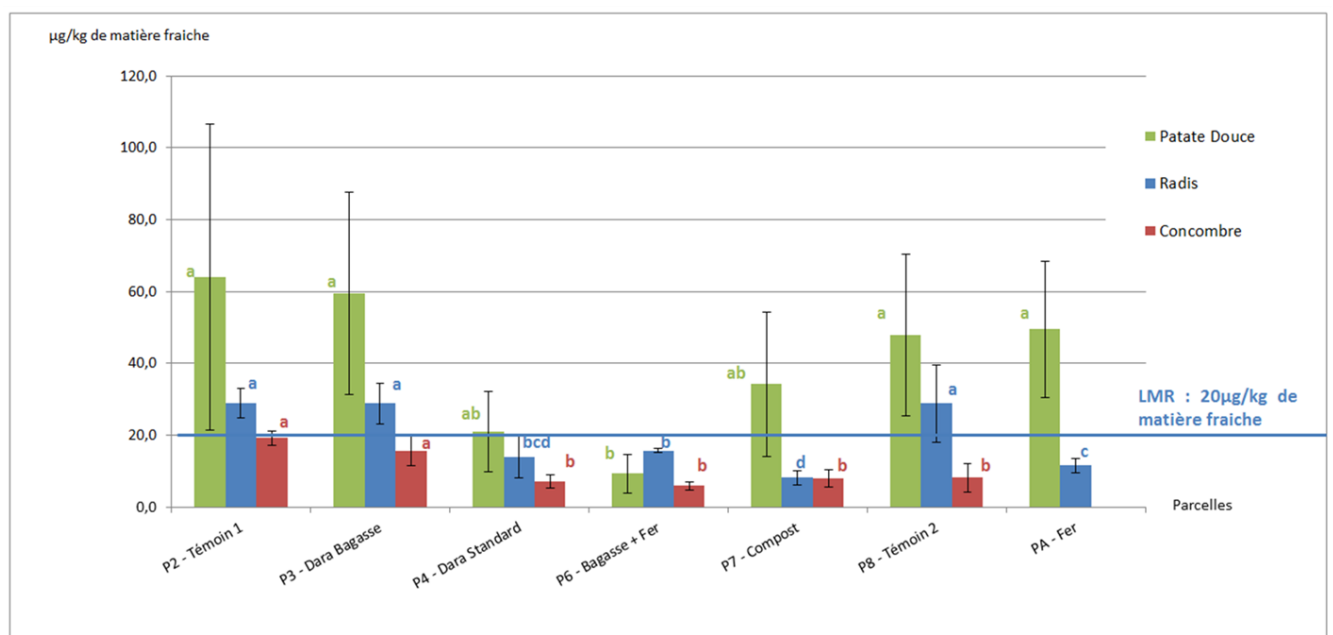
Pour les patates douces, 1 traitement RCIS conduit à des concentrations moyennes en CLD significativement plus faibles que les témoins et inférieures à la LMR. Il serait intéressant d'évaluer cette modalité de traitement en augmentant l'apport d'engrais afin de voir si la réduction du transfert de CLD du sol vers la patate se confirme dans une situation de pleine croissance.

Une autre parcelle de bananeraie plus contaminée ($1,9 \pm 0,3$ mg/kg) et représentative d'un autre type de sol (contexte alluvionnaire) a été étudiée. L'étude agronomique en serre montre que la consommation des radis cultivés sur ce sol traité par RCIS redevient possible alors qu'elle ne l'est pas à partir des radis cultivés sur le sol témoin (Mouvet et al., 2016 b).

Les effets du traitement de sols par RCIS sont donc très majoritairement positifs en ce qui concerne les caractéristiques sanitaires des cultures étudiées. Ces résultats ouvrent des perspectives complémentaires aux mesures de gestion actuellement en place.

Références bibliographiques

- Achard R, Cabidoche YM, Caron A, Nelson R, Duféal D, Lafont A, Lesueur-Jannoyer M., (2007). Contamination des racines et tubercules cultivés sur sol pollué par la chlordécone aux Antilles. *Les cahiers du Pram* 7:45–50.
- Cabidoche YM, Lesueur-Jannoyer M. (2012). Contamination of harvested organs in root crops grown on chlordecone-polluted soils. *Pedosphere* 22(4):562–571.
- Mouvet C, Dictor M-C, Bristeau S, Breeze D., Mercier A., 2016. Remediation by chemical reduction in laboratory mesocosms of three chlordecone-contaminated tropical soils. *Environ Sci Pollut Res.* 24, 25500–25512. doi: 10.1007/s11356-016-7582-4.
- Mouvet C., Collet B., Gaude J. M., Bristeau S., Rangon L., Lesueur-Jannoyer M., Jestin A., avec la collaboration de Senergues M., Belghit H., Placide S., Clostre F., Marville E., Woignier T., Labrousse Y., Soler A. (2016) - Décontamination par In Situ Chemical Reduction d'un nitisol et d'un sol alluvionnaire pollués par la chlordécone. Résultats physico-chimiques et agronomiques. Rapport final. BRGM/RP-65462-FR, 188 p., 61 ill., 61 tabl., 1 ann. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-65462-FR.pdf>



Concentrations en chlordécone (moyenne et écart-type, n = 5) dans les 3 cultures pour les 7 modalités étudiées