

Evaluation de la contamination des sols des zones de culture cotonnière au Togo par les pesticides Organochlores : Cas de la station expérimentale de Kolokopé

[Evaluation of soil contamination in cotton farming areas of Togo by organochlorinated pesticides : Case of the experimental station of Kolokope]

Diyakadola Dihéénane BAFAI¹, Moursalou KORIKO¹, Sanonka TCHEGUENI¹, Gado TCHANGBEDJI¹, Georges MERLINA², and Mohamed SARAHA³

¹Laboratoire Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD), Faculté des Sciences, Université de Lomé, BP : 1515 Lomé, Togo

²Laboratoire CNRS-Ecolab, Campus ENSAT, Avenue de l'Agrobiopole, BP 32607 Auzeville-Tolosane, 31 326 CASTANET-TOLOSAN Cedex, Toulouse, France

³Laboratoire de Photochimie Moléculaire et Macromoléculaire, UMR CNRS 6505, Ensemble Universitaire des Cézeaux, Université Blaise Pascal Clermont Ferrand, 63177Aubière Cedex, Clermont Ferrand, France

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: We studied the impact of pesticides use on soils in the high cotton production area of Togo. In this framework, we have determinate traces of these organic compounds in samples of an experimental station soil. Chromatography Analyses have been performed on samples taken between 0 and 20 cm depth. These analyses revealed presence of several organochlorinated pesticides residues at 0.019 up to 5.727 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Some of these chemicals have higher concentration than standards allowed. We conclude to the contamination of our investigation area soils by organochlorinated pesticides. The comparison of our results with previous work shows a natural and progressive degradation of these pesticides.

KEYWORDS: pesticide, organochlorinated, soil, contamination, degradation.

RESUME: Dans le cadre de l'étude de l'impact de l'utilisation des pesticides sur les sols d'intense culture cotonnière au Togo, nous avons recherché des traces de ces composés organiques dans les échantillons de sol d'une station d'expérimentation. Les analyses par chromatographie ont été effectuées sur des échantillons de sols prélevés entre 0 et 20 cm. Elles ont révélé la présence de plusieurs résidus de pesticides organochlorés à des teneurs de 0,019 à 5,727 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ dont certaines sont supérieures aux normes autorisées. Ces résultats nous permettent de mettre en évidence la contamination de ces sols par les pesticides étudiés. La comparaison de nos résultats à ceux de travaux antérieurs montre une dégradation naturelle et progressive de ces pesticides avec le temps malgré leur caractère persistant.

MOTS-CLEFS: pesticide, organochlorés, sol, contamination, dégradation.

1 INTRODUCTION

L'utilisation des intrants chimiques en général et des pesticides en particulier dans les cultures de rente en Afrique a connu une progression rapide ces quarante dernières années [1]. Si les pesticides sont d'abord apparus bénéfiques, malheureusement leurs effets nocifs sur l'homme, la biodiversité et l'environnement ont été vite mis en évidence [2], [3], [4], [5], [6]. Au Togo, les pesticides organochlorés reconnus très persistants ont fait et continuent de faire partie des principaux pesticides utilisés dans la culture cotonnière. Malgré l'interdiction de la grande majorité de ces organochlorés, la pression parasitaire sur le cotonnier et le développement des résistances de certains ravageurs comme *Helicoverpa armigera* contraignent encore à l'usage de certains comme l'endosulfan.

L'objectif de ce travail porte sur la détection, la quantification et l'évaluation de la persistance dans le sol d'une station expérimentale de culture de coton des pesticides organochlorés : DDT et ses métabolites, le dieldrine, l'endrine, le lindane, l'endosulfan, l'heptachlore et l'heptachlore époxyde.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 ECHANTILLONNAGE DES SOLS

Notre étude a couvert deux types de sites à savoir la station expérimentale de Kolokopé et le site témoin de Lomé. Ce dernier n'est pas une zone de culture cotonnière mais a été considéré comme sol de référence dans le cadre de cette étude. Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une tarière de type Endelman selon la méthode décrite par Mathieu et Pieltain [7] qui consiste à réaliser des aires délimitées de 10 m x 10 m au milieu du champ à l'intérieur desquelles nous avons prélevé neuf (9) échantillons entre 0 et 20 cm de profondeur (Figure 1). Les échantillons élémentaires prélevés sont traités (homogénéisation- quartage- séchage à l'air- tri et réduction des mottes- tamisage) pour constituer des échantillons composites prétraités en vue des analyses élémentaires et la recherche des résidus de pesticides.

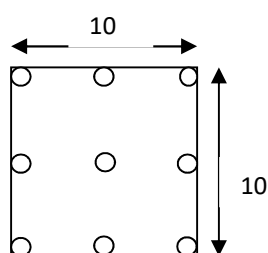


Fig. 1. Mode de prélèvement des échantillons de sols.

2.2 CARACTÉRISATION PHYSICOCHIMIQUE DES SOLS

Nous avons réalisé la caractérisation physicochimique des échantillons de sols. Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de marque WTW 330i. Le taux d'humidité résiduelle a été déterminé par pesage avant et après séchage des échantillons à l'étuve à 105°C pendant 24 heures (NF ISO 11465). La détermination du taux de Matière Organique dans les échantillons a été effectuée par la méthode de perte au feu dans un four à 550°C pendant 18 heures (Dérivée de NF EN 12-879). La Capacité d'Echange Cationique (CEC) a été mesurée par la méthode de saturation à l'acétate de sodium et d'extraction à l'acétate d'ammonium (NF X31-130). Le dosage a été effectué au photomètre de flamme JENWAY PFP7 (NF U42-111). L'analyse granulométrique des sols a été effectuée selon la méthode ROBINSON.

2.3 EXTRACTION ET PURIFICATION

L'extraction de nos échantillons organiques a été réalisée par la méthode d'Extraction Accélérée par Solvants en utilisant l'appareil ASE 200 Dionex dont les cellules sont remplies d'un mélange d'échantillon et de terre de Diatomées. L'hexane et l'acétone (Carlo Erba, F13124 PeypinFrance) sont les solvants d'extraction. Nous avons procédé à deux extractions : la première à 50°C pour les pesticides thermolabiles et la seconde à 100°C pour les autres molécules. La purification des extraits a été réalisée à l'aide du chromatographe d'adsorption sur florisil type Wasters Corportion (Milford, Massachussets) et adaptées aux seringues SGE à embout normalisé Luer (Scientific Glass Engeneering Pty. Ltd, Melbourne, Australie).

2.4 DÉTECTION DES RÉSIDUS DE PESTICIDES

La détection des résidus de pesticides a été réalisée à l'aide d'un dispositif composé d'un chromatographe *Thermo Fisher Trace GC Ultra* couplé à un spectromètre de masse *Trace DSQ II*. Les solvants utilisés sont l'hexane et l'acétonitrile HPLC fournis par Carlo-Erba ; de l'eau ultra pure. Les paramètres d'analyses sont résumés dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1. Paramètres d'analyse au chromatographe couplé au spectromètre de masse

Conditions chromatographiques	Conditions de détection du spectromètre de masse
Mode d'injection Splitless Température initiale du four 280°C Colonne Phenomenex Zebron SMS Longueur de la colonne 30 m Diamètre interne 0,25 mm Epaisseur du film 0,25 µm Gaz éluant Hélium Débit d'élution 1 ml/min	Température de source 250°C Ligne de transfert 300°C Multiplicateur d'électrons 1660 V Mode de détection SIM

3 RESULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES SOLS

Le devenir dans les sols des composés chimiques en général et des pesticides en particulier dépend des caractéristiques physicochimiques et minéralogiques de ces sols. C'est pourquoi nous avons réalisé une étude des propriétés des sols des deux zones d'étude. Les mesures du pH de nos échantillons nous permis de montrer que ces sols sont légèrement acides (Tableau 2). Sur le plan minéralogique, le sol de Kolocopé a une texture limono-argilo-sableuse et le profil d'un vertisol (sol argileux constitué d'argiles gonflantes ou smectites en particulier les montmorillonites). Il est riche en matière organique (3,286%). Le sol de Lomé est essentiellement sablonneux avec un taux d'humidité résiduelle inférieure à 1% et une teneur en matière organique inférieure à 1% qui implique une faible capacité d'échange cationique (CEC).

Tableau 2. Caractérisation physico-chimique des sols

Analyses	Kolocopé	Lomé	
pH-eau	6,29	5,87	
Humidité (%)	3,416	0,53	
Matière Organique (%)	3,286	0,915	
Capacité d'Echange Cationique (méq/100g)	26,35	6,93	
Granulométrie (%)	Elément 2mm	3,11	0,00
	Argile 2µm	27,00	4,5
	Limon fin 2µm-20µm	5,00	2,5
	Limon grossier 20µm-50µm	9,95	2,7
	Sable fin 50µm-200µm	33,30	33,65
	Sable grossier 200µm-2000µm	21,10	56,45

3.2 DÉTECTION DES RÉSIDUS DE PESTICIDES DANS LES SOLS

3.2.1 SOL DE KOLOCOPÉ

Le chromatogramme de l'analyse du sol de Kolocopé (Figure 2) révèle différents pics qui mettent en évidence la présence de plusieurs composés. Les organochlorés détectés dans ce sol sont :

- le 1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophényl)éthane (2,4-DDT),
- le 1,1,1-trichloro-2,4-bis(4-chlorophényl)éthane (4,4-DDT) et leurs produits de dégradation le 1,1-dichloro-2,2-bis (4-chlorophényl)éthène (2,4-DDE), le 1,1-dichloro-2,4-bis(4-chlorophényl)éthène (4,4-DDE) ;
- le 1,2,3,4,10,10-hexachloro-6,7-epoxy-1,4,4a,5,6,7,8,8a-octahydro-exo-1,4-exo-5,8-diméthanonaphtalène (*Endrine*) ;
- le 1,2,3,4,10,10-hexachloro-1,4,4a,5,8,8a-hexahydro-exo-1,4:endo-5,8-diméthanonaphtalène (*Aldrine*) ;
- le γ-1,2,3,4,5,6-hexachlorocyclohexane (*Lindane*) ;
- le 6,7,8,9,10,10-hexachloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahydro-6,9-méthano-2,4,3-benzodioxathiépine-3-oxyde (*β-endosulfan*) ;
- le 1,4,5,6,7,8,8a-heptachloro-3a,4,7,7a-tétrahydro-4,7-methanoindene (*Heptachlore*)
- et le 1,4,5,6,7,8,8a-heptachloro-2,3-epoxy-2,3,3a,4,7,7a-hexahydro-4,7-methanoindene (*Heptachlore époxyde*).

Nous n'avons pas pu identifier certains de ces pics qui appartiennent probablement à des pesticides ou à des composés organiques du sol qui ne sont pas pris en compte dans notre étude.

En plus de la détection des molécules, nous avons aussi déterminé leurs concentrations (Tableau 3). Ces teneurs ont été comparées aux normes en vigueur dans certains pays développés (Canada [8] et Pays-Bas [9]). Afin d'évaluer le comportement dans le temps des composés détectés, nous avons réalisé une étude comparative de nos résultats avec ceux de l'étude réalisée par Mawussi et al. en 2008 [10].

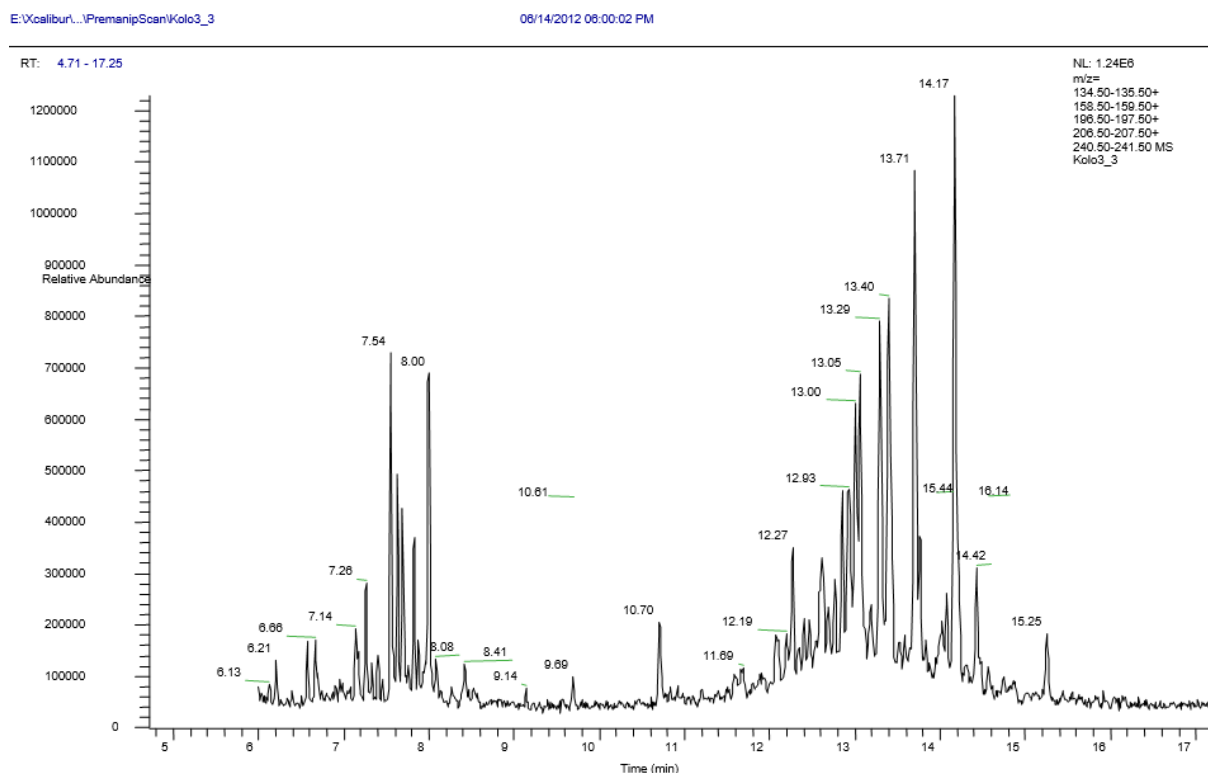


Fig. 2. Chromatogramme de l'extrait du sol de Kolokopé

Les concentrations du 2,4-DDT et du 4,4-DDT sont largement inférieures aux seuils de contamination des sols en vigueur au Canada [8]. La détection du DDT malgré l'interdiction de son utilisation depuis 1978, confirme son caractère persistant. En effet, ce pesticide a une persistance de plus de 30 ans dans le sol [11].

La dégradation du DDT dans l'environnement donne naissance aux sous-produits suivant : le 1,1-dichloro-2,2-bis (4-chlorophényl) éthène (DDE) et le 1,1 - dichloro-2,2-bis (4-chlorophényl) éthane (DDD). Au cours de nos investigations, seul le DDE a été détecté avec une concentration relativement élevée (Tableau 3) mais qui reste aussi largement inférieure à la valeur seuil de contamination dans le sol de Kolokopé. Ceci est probablement dû au caractère plus persistant de ce sous-produit. Il est aussi reconnu plus toxique que la substance mère [12].

Nous avons également mis en évidence la présence l'endrine à une concentration supérieure au seuil de contamination [8] (Tableau 3). Cette forte teneur s'explique par sa persistance dans l'environnement, par sa faible solubilité dans l'eau et enfin par sa forte adsorption par les particules du sol. La demi-vie de ce pesticide dans le sol varie entre 4 et 14 ans [13].

Nos analyses ont révélé la présence des traces de lindane dans le sol de Kolokopé à une teneur largement supérieure au seuil de contamination des sols qui est de 0,05 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ selon [8] (Tableau 3). Le lindane est considéré comme très peu mobile dans les sols. Etant donné son caractère lipophile, il est fortement adsorbé par les sols riches en matières organiques. Ce qui explique cette forte concentration dans le sol de Kolokopé dont le taux de matière organique avoisine les 4%. La demi-vie du lindane varie de quelques jours à plusieurs années.

L'endosulfan qui, malgré son caractère organochloré, est encore utilisé dans la culture cotonnière est un mélange de deux stéréo-isomères l'alpha-endosulfan et le bêta-endosulfan dans les proportions $\alpha/\beta = 70/30$. Les échantillons du sol de Kolokopé ne contiennent que le β -endosulfan avec une teneur supérieure à la valeur limite qui est de 0,1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ [8]. Selon plusieurs travaux, le β -endosulfan est plus persistant que l'isomère α dans le sol. Malgré sa dégradation rapide dans l'eau, il peut persister pendant une période relativement longue lorsqu'il est lié aux particules du sol [14]. La demi-vie de l'endosulfan varie de 9 mois à 6 ans [15]. Ce qui explique le fait que nous ayons détecté le β -endosulfan lors de nos investigations.

Nous avons enfin détectées d'une part, l'heptachlore avec une concentration inférieure à la valeur limite ($0,7\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) [8] et d'autre part, son métabolite stable qu'est l'heptachlore époxyde obtenu par biodégradation dont la teneur est supérieure à la valeur limite qui est de $0,0002\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ [8]. Ces deux molécules sont persistantes dans les sols, avec une demi-vie de 250 jours. Plusieurs travaux antérieurs [16], [17] ont montré que ces deux composés peuvent exister à l'état de traces dans le sol 14 à 16 ans après le traitement.

Tableau 3. Paramètres chromatographiques et teneurs des pesticides étudiés dans le sol de Kolocopé

Molécules	Temps de rétention standard (min)	Temps de rétention Kolocopé (min)	Teneurs moyennes des composés identifiés ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)		
			Nos travaux	Travaux Mawussi <i>et al.</i> (2008) [10]	références
2,4-DDT	14,38	14,40	0,17	3,41	100 ^b
4,4-DDT	15,49	15,48	0,052	3,34 à 4,74	100 ^b
2,4-DDE	12,28	12,27	0,019	1,76 à 2,90	100 ^b
4,4-DDE	13,15	13,15	1,367	1,70 à 1,98	100 ^b
Dieldrine	13,32	ND	ND	0,67 à 2,54	0,5 ^a
Endrine	13,88	13,87	4,914	ND	0,04 ^a
Aldrine	10,66	ND	ND	0,32	0,06 ^a
Lindane	8,27	8,27	0,378	0,91 à 3,31	0,05 ^a
α -endosulfan	12,58	ND	ND	2,23 à 7,45	0,1 ^a
β -endosulfan	14,17	14,17	1,37	1,34 à 1,63	0,1 ^a
Heptachlore	9,81	9,83	0,497	ND	0,7 ^a
Heptachlore époxyde	11,61	11,55	1,094	1,45 à 4,99	0,0002 ^a

a. seuil de contamination de sol ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) aux Pays-Bas [8]

b. valeur guide des sols contaminés en $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de sol sec au Canada [9]

3.2.2 SOL DE LOMÉ

Par rapport au sol expérimental de Kolocopé, le chromatogramme obtenu après analyse du sol de Lomé comporte moins de pics avec des temps de rétention faibles (figure 3).

E:\Xcalibur...\Organochlores220612\L1

06/24/2012 06:24:22 AM

RT: 7.15 - 17.84

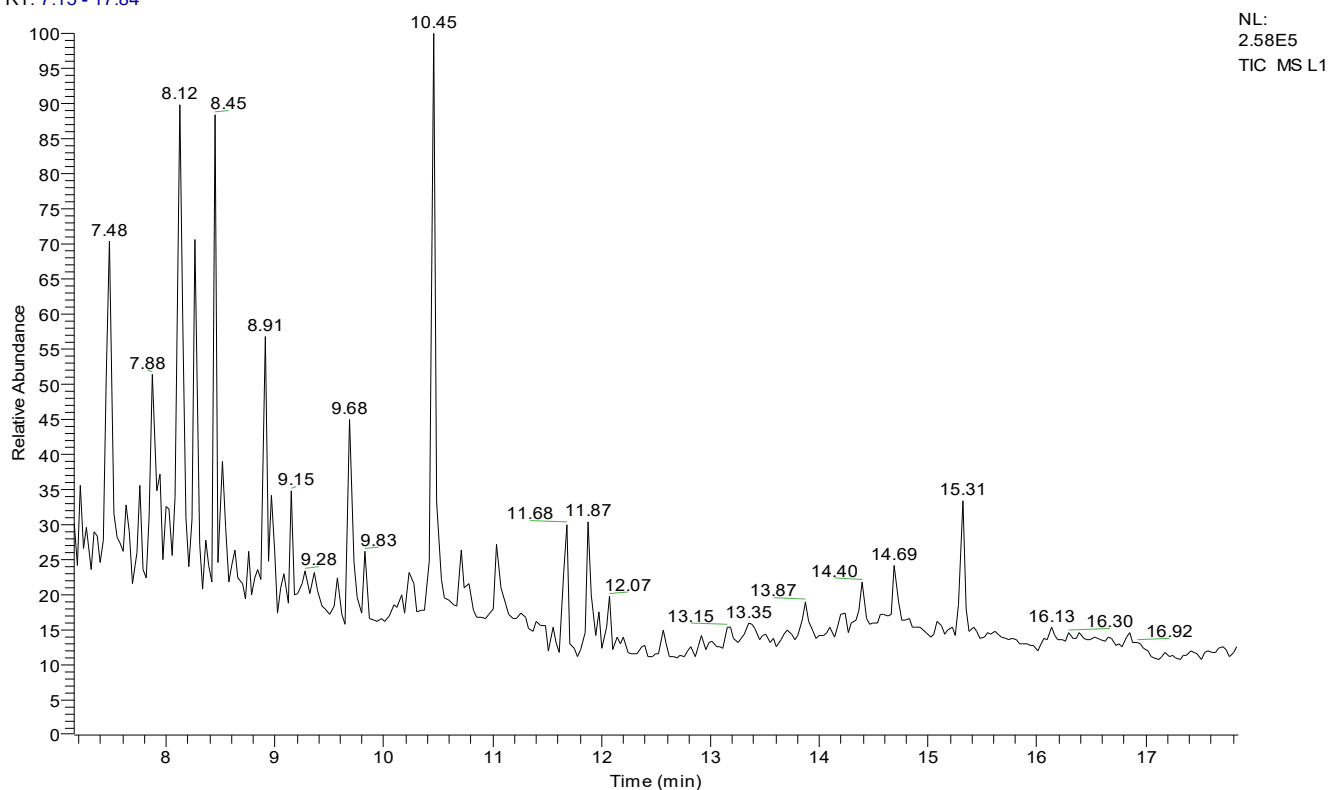


Fig. 3. Chromatogramme de l'extrait du sol de Lomé

En effet, de toutes les molécules recherchées au cours de notre étude, seules le 4,4-DDE de concentration 0,1028 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ nettement inférieure au seuil de référence (100 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) [9] et le lindane qui a une concentration de 0,2423 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ supérieure au seuil limite 0,05 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ [8] ont été détectées dans le sol de Lomé.

Le tableau suivant (Tableau 4) montre les paramètres chromatographiques et teneurs des molécules détectées lors de l'analyse de nos échantillons et d'échantillons standards.

Tableau 4. Paramètres chromatographiques et teneurs des pesticides étudiés

Molécules	Temps de rétention standard (min)	Temps de rétention Lomé (min)	Teneur moyenne des résidus ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	
			Nos travaux	Références
2,4-DDT	14,38	ND	ND	100 ^b
4,4-DDT	15,49	ND	ND	100 ^b
2,4-DDE	12,28	ND	ND	100 ^b
4,4-DDE	13,15	13,15	0,1028	100 ^b
Dieldrine	13,32	ND	ND	0,5 ^a
Endrine	13,88	ND	ND	0,04 ^a
Aldrine	10,66	ND	ND	0,06 ^a
Lindane	8,27	8,27	0,2423	0,05 ^a
α -endosulfan	12,58	ND	ND	0,1 ^a
β -endosulfan	14,17	ND	ND	0,1 ^a
Heptachlore	9,81	ND	ND	0,7 ^a
Heptachlore époxyde	11,61	ND	ND	0,0002 ^a

a. seuil de contamination de sol ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) au Pays Bas [9]

b. valeur guide des sols contaminés en $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de sol sec au Canada [8]

4 DISCUSSION

La texture limono-argilo-sableuse du sol de Kolokopé et sa richesse en matière organique favorise la rétention des polluants. Le sol de Kolokopé contient des résidus de neuf (09) des douze (12) pesticides organochlorés retenus pour notre étude. Ces résultats s'expliquent d'une part, par l'histoire culturelle de ce site qui est une station d'expérimentation agricole où les fréquences de traitement du coton sont en général supérieures à la moyenne et d'autre part, par les propriétés physicochimiques de ce sol. En effet, les taux d'argile et de matières organiques qui sont respectivement 27% et 3,286% et la valeur élevée de la capacité d'échange cationiques (CEC) qui est de 26,35 méq/100g de ce sol (Tableau 2) sont des propriétés qui favorisent la rétention des pesticides. Ces propriétés limitent aussi la contamination des nappes phréatiques par les pesticides. Cependant, il faut noter que le taux élevé d'argile favorise le ruissellement rendant ainsi vulnérables les eaux de surface à la contamination.

Les teneurs de ces résidus de pesticides organochlorés de notre étude (Tableau 3) sont comparables à celles obtenues lors des analyses des sols de culture cotonnière de la sous-région Ouest-africaine. C'est ainsi qu'au Mali on a pu détecter le DDE avec une teneur comprise entre 20 et 121 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, le DDD avec une concentration de 6 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, le DDT avec une teneur comprise entre 6 et 11 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, le α -endosulfan avec une concentration variant entre 6-10 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ et le β -endosulfan dont la teneur oscille entre 26,4 - 37 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ [18]. Au Burkina-Faso, l'endosulfan a été détecté à des concentrations comprise entre 0,1 à 16,54 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ [22]. Au Bénin, des études ont mis en évidence la présence de l'endosulfan avec une concentration de 13,8 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ [20] et celles de 4,4-DDE (2,0 à 12 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) et de 4,4-DDD (0,54 à 1,9 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) [21].

La texture du sol de Lomé est peu vulnérable à la contamination par des produits chimiques et favorise plutôt la contamination des nappes phréatiques par infiltration. Les pesticides organochlorés utilisés dans la culture du coton sont totalement absents dans ce sol de référence qui est donc pauvre en pesticides recherchés. C'est ainsi sur les douze composés organochlorés recherchés, nous n'avons retrouvé que deux (02) à de faibles concentrations. Nous pouvons donc affirmer que la présence des composés organochlorés dans le sol de Kolokopé est due à l'utilisation de ces pesticides dans la culture du coton sur ce sol.

En général, les concentrations obtenues au cours de nos analyses du sol de Kolokopé sont inférieures à celles des travaux de Mawussi [10]. Cette baisse est la traduction d'une dégradation naturelle et progressive de ces pesticides avec le temps malgré leur caractère persistant. Si cette dégradation semble être une bonne chose à cause de la disparition de la substance mère, elle peut donner naissance à des sous-produits encore plus toxiques.

5 CONCLUSION

Ce travail a été réalisé dans le cadre des études d'impact sur l'environnement de l'utilisation intensive des pesticides organochlorés reconnus persistants dans la culture cotonnière. Les résultats que nous avons obtenus révèlent la présence des résidus de plusieurs pesticides organochlorés dans le sol de culture de coton de Kolocopé à des teneurs supérieures aux limites de référence de contamination des sols du Canada et des Pays-Bas. Le sol de Kolocopé se révèle être un site pollué par ces résidus organochlorés à cause d'une part, par l'histoire culturale de ce sol qui est un centre de recherche et d'autre part, par les propriétés physicochimiques du sol qui favorisent la rétention des polluants. Une étude comparative avec un sol témoin (sol de Lomé) a permis de confirmer que la contamination du sol de Kolocopé est dû à l'utilisation des pesticides dans la culture cotonnière. Enfin, une étude comparative des concentrations des différentes molécules de notre étude et celles des études antérieures réalisées en 2008 nous a permis de montrer une dégradation naturelle de ces composés dans le temps.

REFERENCES

- [1] G. Fleischer, V. Andoli, M. Coulibaly and T. Randolph, *Analyse socioéconomique de la filière des pesticides en Côte d'Ivoire*, H. Waibel and P. Keller (Eds), 1998.
- [2] N. Añasco, S. Uno, J. Koyama, T. Matsuoka and N. Kuwahara, "Assessment of pesticide residues in freshwater areas affected by rice paddy effluents in Southern Japan", *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 160, pp. 371-383, 2010.
- [3] K. Loague, D. Llyod, A. Nguyen, S. N. Davis and R. H. Abrams, "A case study simulation of DBCP groundwater contamination in Fresno County, California 1. Leaching through the unsaturated subsurface.", *J. Contam. Hydrol.*, vol. 29, pp. 109-136, 1998.
- [4] B. Ouattara, O. W. Savadogo, O. Traore, B. Koulibali, M. P. Sedogo and A. S. Traore, "Effet des pesticides sur l'activité microbienne d'un sol ferrugineux tropical du Burkina Faso.", *Cameroon Journal of Experimental Biology*, vol. 6, no.1, 2010.
- [5] M. Sudo, T. Kunimatsu and T. Okubo, "Concentration and loading of pesticide residues in Lake Biwa basin (Japan)", *Water Research*, vol. 36, pp. 315-329, 2002.
- [6] A. M. Toé, M. L. Kinané, S. Koné and E. Sanfo-Boyrm, "Le non respect des bonnes pratiques agricoles dans l'utilisation de l'endosulfan comme insecticides en culture cotonnière au Burkina Faso: quelques conséquences pour la santé humaine et l'environnement", *Revue Africaine De Santé et de Production Animales*, vol. 2, pp. 275-278, 2004.
- [7] C. Mathieu and F. Pieltain, *Analyse chimique des sols : Méthodes choisies*, Ed. Lavoisier. 2003.
- [8] PNUE and ADEME, *Identification et Gestion des Sites Pollués : GUIDE MÉTHODOLOGIQUE*. Paris, ADEME Editions, 2005.
- [9] M. Jauzein, I. Feix and J. Wiart, *Les micro-polluants organiques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines, connaître pour agir, Guides et cahiers techniques*, Edition Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie (Ademe), Angers, 1995.
- [10] G. Mawussi, *Bilan environnemental de l'utilisation des pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherche alternative par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café (Hypothenemus hampei Ferrari)*, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2008.
- [11] A. S. Crowe, J. E. Smith and S. Spencer, *DDT and Dieldrin assessment and monitoring protocols for Point Pelee National Park*, Burlington/Saskatoon, Environnement Canada, Institut national de recherche sur les eaux, 2002
- [12] T. Cantillana, *Toxicologically important DDT metabolites :Synthesis, enantioselective analysis and kinetics*, Department of Environmental Chemistry Stockholm, Stockholm University, 2009.
- [13] FAO Ed, *Évaluation de la contamination des sols : Manuel de référence*, Collection fao: Elimination des pesticides, Rome, FAO, 2000.
- [14] W. E. Cotham and T. F. Bidleman, "Degradation of malathion, endosulfan and fenvalerate in seawater and seawater/sediment microcosms", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 37, pp. 824-828, 1989
- [15] R. Jayashree, N. Vasudevan and S. Chandrasekaran, "Surfactants enhanced recovery of endosulfan from contaminated soils." *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 251-259, 2006.
- [16] J. Kielhorn., S. Schmidt, I. Mangelsdorf and P. D. Howe, *Heptachlor. Concise international chemical assessment document*, Geneva, SUISSE, World health organization 2006.
[Online] Available : <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad70.pdf>
- [17] INERIS, *Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Heptachlore*, 2010.
- [18] S. B. Dem, J. M. Cobb and D. E. Mullins, "Pesticide residues in soil and water from four cotton growing areas of Mali, West Africa.", *Journal of Agricultural, Food and Environmental*, vol. 1, no. 1, 2007.
- [19] P. W. Savadogo, O. Traore, M. Topan, K. H. Tapsoba, P. M. Sedogo and L. Y. Bonzi-Coulibaly, "Variation de la teneur en résidus de pesticides dans les sols de la zone cotonnière du Burkina Faso.", *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, vol. 1, pp. 29-39, 2006.

- [20] C. Biaou, S. Alonso, D. Truchot, F. A. Abiola and C. Petit ", Contamination des cultures vivrières adjacentes et du sol lors d'une pulvérisation d'insecticides sur des champs de coton : cas du triazophos et de l'endosulfan dans le Borgou (Bénin).", *Revue Méd. Vét.*, vol. 154, no 5, pp. 339-344, 2003.
- [21] S. Paré, B. Kaboré, C. Stechert, M. Kolb, M. Bahadir and L. Y. Bonzi-Coulibaly, "Agricultural Practice and Pesticide Residues in Soils and Pool Sediments from the Pendjari Biosphere Reserve Area in Benin, West Africa.", *Clean-Soil, Air, Water*, vol. 42, pp. 1-11, 2014.