

Dosage des résidus de pesticides de synthèse dans les feuilles de maïs dans la zone soudano - sahélienne du Mali

Modibo Amadou KONATE^{1,2}, Laya KANSAYE³, Antoine WAONGO⁴, Laouali AMADOU⁵, Sidy COULIBALY², Alpha Seydou YARO^{3*}.

1. Mali Doctoral School of Science and Technology,
2. Institute of Rural Economy, Mali,
3. Rural Polytechnic Institute for Training and Applied Research, Mali,
4. Institute for Environment and Agricultural Research, CREAM of Kamboinsé, 01 BP 476 Ouagadougou, 01 Burkina Faso,
5. Entomology II Laboratory of Maradi, National Institute of Agronomic Research, Maradi, Niger,
6. Faculty of Science and Technology, University of Bamako, Mali,

*Corresponding author Email: kmodibo37@gmail.com

Submission 13th June 2024. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 31 August 2024. <https://doi.org/10.35759/JABs.199.9>

Objectif: La présente étude de toxicologie des feuilles de maïs, vise à mettre en évidence le niveau de pollution de celles - ci par le fait de l'utilisation non raisonnée des pesticides de synthèses dans les secteurs Bla et de Koutiala.

Méthodologies et Résultats: Le prélèvement des échantillons composites de feuilles de maïs a été réalisé dans 10 villages et parcelles de maïs non traitées ou traitées il y a un mois au moins à raison de 05 champs par secteur. L'activité a été conduite au mois de septembre 2022 pendant le stade d'épiaison du maïs. Une analyse pour la détection des résidus de pesticides et leurs quantités dans les feuilles de maïs ont été effectuée au laboratoire. La technique de chromatographie en phase gazeuse couplée à un système de détection à capture d'électrons et la Chromatographie couplée à la spectrométrie de Masse (GC-MS), ont été utilisés sur les 10 échantillons. Au regard du résultat des analyses effectuées, les pesticides décelés sont essentiellement du groupe des pyréthrinoides et les organochlorés. Dans 6 échantillons sur 10, soit 60% contient la Deltaméthrine dont les teneurs dépassent la limite de quantification des pesticides recherchés. Dichlore – Diphényl- Tétrachloréthane (DDT) a été détecté dans 2 échantillons sur 10 au total, soit 20 % des échantillons de cette étude. Il s'agit respectivement de la Deltaméthrine avec des teneurs situées entre (0, 25 à 0,60 mg / kg) et l'op' DDT (0,10 à 0, 91) dans les secteurs de Koutiala et de Bla.

Conclusion et application des résultats: Les molécules chimiques dangereux tels que le Dichlore – Diphényl- Tétrachloréthane (DDT) et interdites sont utilisés par les producteurs au Mali. Ce résultat permettra d'aviser les chercheurs et étudiants dans le cadre du repérage des parasitoïdes de *S. frugiperda* que les larves ou œufs mort(e)s dans les parcelles dites non traitées et / ou adjacentes à une zone traitée peuvent être dues à l'ingestion des résidus de pesticides dans les feuilles. Il en est de même pour les producteurs, les éleveurs des animaux ou consommateurs épis du maïs surtout frais.

ABSTRACT

Objective: The present toxicology study of maize leaves aims to highlight the level of pollution of maize leaves due to the unreasonable use of synthetic pesticides in the Bla and Koutiala sectors of Mali.

Methodology and Results: The collection of composite samples of maize leaves was carried out in 10 villages and plots of maize that were not treated or treated at least one month ago at a rate of 05 fields per sector. The activity was carried out in September 2022 during the heading stage of the maize. Analysis for pesticide residues and their amounts in corn leaves was performed in the laboratory. Gas chromatography coupled with an electron capture detection system and Chromatography coupled with Mass Spectrometry (GC-MS) were used on the 10 samples. In view of the results of the analyses carried out, the pesticides detected are mainly from the group of pyrethroids and organochlorines. In 6 out of 10 samples, 60% contains Deltamethrin, the levels of which exceed the limit of quantification of the pesticides sought. Dichlor-Diphenyl-Tetrachlorothahane (DDT) was detected in 2 out of 10 samples in total, representing 20% of the samples in this study. These are respectively Deltamethrin with concentrations between (0.25 to 0.60 mg/kg) and op' DDT (0.10 to 0.91) in the Koutiala and Bla sectors.

Conclusion and application of results: Dangerous chemical molecules such as Dichlorine – Diphenyl – Tetrachlorothahane (DDT) and banned are used by producers in Mali. This result will make it possible to warn researchers and students in the context of the identification of *S. frugiperda* parasitoids that dead larvae or eggs in so-called untreated plots and/or adjacent to a treated area may be due to the ingestion of pesticide residues in the leaves. The same is true for producers, breeders of animals or consumers of corn on the cob, especially fresh.

Mots clés : Pesticide residues, maize, FAW.

INTRODUCTION

Le maïs est une céréale servant d'aliment de base pour une grande partie de la population du sahel. Il était la céréale la plus produite au monde en 2022 avec une production de 1 163 497 383 tonnes contre 776 461 456 de tonnes pour le riz (FOSTAT, 2022). Au Mali, le rendement annuel moyen du maïs est passé de 1,8 t/ha (de 2005 à 2009) à 2,5 t/ha (de 2010 à 2015) (CSA Mali, 2016). Le rendement moyen actuel du maïs au Mali est de 2,35 t/ha selon (Sissokol *et al.*, 2020). La production du maïs au Mali est consommée par les humains aussi que les animaux. La part dans l'alimentation humaine augmente régulièrement, passant de 5,9 kilogrammes / an et par habitant en 1980 à 50,9 kilogrammes en 2011(Spaaa Fao, 2014) . Cependant, dans sa production, des écarts importants sont remarquées entre les régions du pays. Une part significative de la production provient du secteur agricole de Sikasso. Elle représentait

59 % de la production nationale en 2012 (Spaaa Fao, 2013). Les bassins de production du maïs au Mali sont aussi celles du cotonnier qui bénéficie d'importantes quantités de pesticides. Ainsi, dans ces zones pour une meilleure protection et un bon rendement des principales cultures céréalières, la majorité des producteurs utilise les pesticides de synthèse (Brévault *et al.*, 2019). Les pesticides employés très souvent ne sont pas homologués et ont des conséquences dramatiques sur les humains et les animaux (Sani *et al.*, 2020). De 1960 à 2001, les pesticides à base d'organochlorés (DDT: dichlorodiphényltrichloroéthane), les pyréthrinoïdes (cyperméthrine, deltaméthrine, fenvalérate); l'endosulfan et l'endrine ont été utilisés en quantité importante sur le cotonnier dans les pays francophones d'Afrique (Toulouse *et al.*, 2003). Depuis l'avènement de la chenille légionnaire

d'automne (CLA) ou appelée *S. frugiperda* en Afrique et au Mali selon Goergen *et al.* (2016) et FAO (2020), le maïs reçoit également d'importantes quantités de pesticides contre ce ravageur (Laminou *et al.*, 2022). L'efficacité de ces pesticides sur la chenille légionnaire et leurs impacts sur l'environnement restent à démontrer dans le contexte du Mali. L'emploi des pesticides de synthèse, notamment Thiodalm et d'Emacot a été confirmé au Togo. Au Mali, 60 pesticides dont 17 herbicides et insecticide non homologués par le comité Ouest - africain d'homologation des pesticides sont utilisés (Le Bars *et al.*, 2022). Cela suscite d'énormes inquiétudes sanitaires et environnementales. Selon Qiu & Zhu (2010), dans une investigation sur deux isomères du DDT, le pp'-DDT et l'op'-DDT sont proscrits en Chine depuis des décennies. En effet, selon Real *et al.* (2012), les interventions phytosanitaires contre les insectes ravageurs ont jusqu'à présent contribué à des degrés divers au contrôle des ennemis des plantes. Cependant, celles-ci peuvent être souvent sources de molécules chimiques dans les récoltes. Les conséquences sur l'environnement peuvent occasionner de souches résistantes aux substances actives employées. En Chine dans une étude de

résistance de *S. frugiperda* sur 14 pesticides de synthèse au laboratoire, il a été révélé une résistance de la CLA au chlorpyrifos, Lambda-cyhalodrin, malathion, au deltaméthrine, emamectine (Zhang *et al.*, 2021). En somme, les pesticides de synthèses constituent les premiers moyens de lutte contre *S. frugiperda* en Afrique et au Mali depuis avènement de *S. frugiperda*. Dans le cadre des collectes des larves ou œufs pour le repérage des parasitoïdes de cet insecte ravageur, il n'est pas rare de retrouver des larves mortes dans les parcelles non traitées ou adjacentes à une zone traitée. Cette situation gêne la collecte des larves ou œufs éventuellement infestées par les parasitoïdes et pourrait être préjudiciable aussi à la santé des consommateurs du maïs. Au Mali, des travaux de recherche sur l'impact des pesticides sont très peu documentés dans le domaine de la production céréalière, et sont nécessaires d'être réalisés (Le Bars *et al.*, 2022). La présente étude vise à mettre en évidence le niveau de contamination de la biomasse foliaire du maïs afin de prévenir les producteurs péri - urbains, les décideurs, les consommateurs du maïs dans l'alimentation animale ou humaine des dangers qu'ils pourraient y avoir dans l'usage abusif des pesticides de synthèse sur cette culture.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Zones d'étude: L'étude a été conduite dans les parcelles des localités de M'pessoba ferme ; N'Tarla (IRCT) et de Nitia. Ces sites sont principalement repartis entre les régions de Koutiala et de Ségou. La région de Koutiala est composée de 36 communes dont celle de M'pessoba. Elle est située dans la zone cotonnière au Sud du Mali, entre les isohyètes de 800 mm et 1000 mm (Sanogo *et al.*, 2020). La zone est un des bassins de

production des céréales, notamment le maïs en rotation avec le cotonnier. La deuxième région de collecte est celle de Ségou composée de 17 communes dont celle de Bla renfermant le village de Nitia. Le climat y est semi-aride avec des précipitations annuelles allant de 600 à 800 mm par an (Traoré *et al.* 2019). Le secteur de Bla est une zone de production du coton et de céréales par excellence (Koné, 2016).

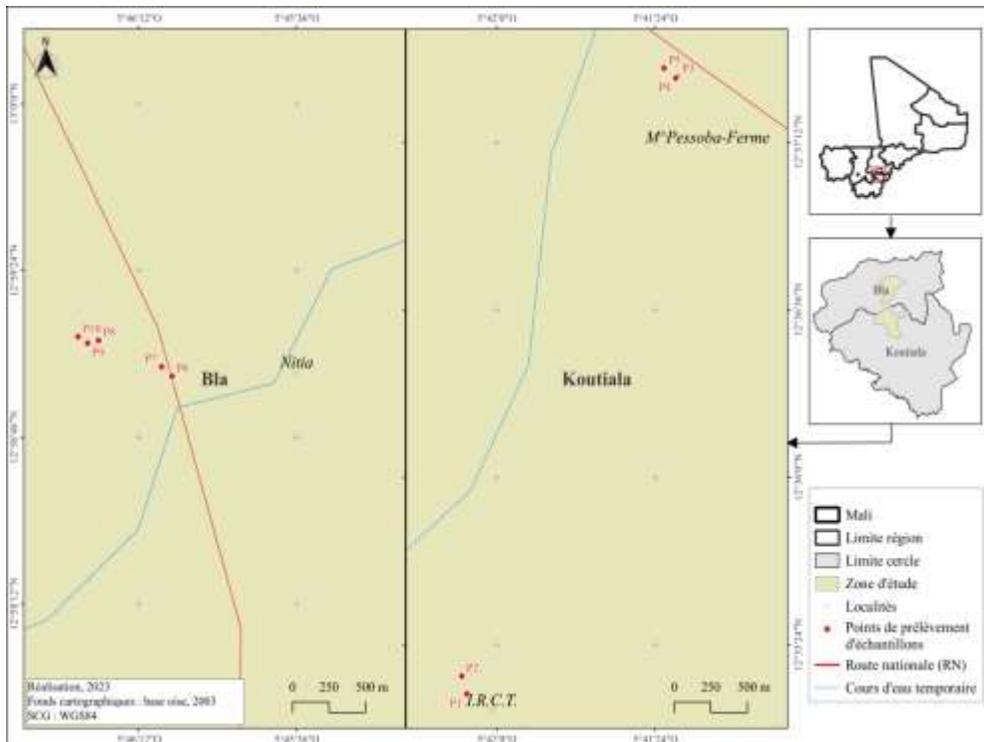


Figure 1 : Carte de zone de prélèvement

Pesticides retenus pour l'analyse: Dans le cadre de cette étude, nous avons opté d'analyser 10 spécialités de pesticides avec différentes matières actives. Ils sont constitués de : l'Aldrine, la Deltaméthrine, la Dieldrine, l'Acetamipride, l'Endosulfane A, l'Endosulfane B, l'Imidaclopride, la Profenophos, et la complexe de Dichlorodiphényltrichloroéthane (OP'DDT et le PP'DDT). Ces pesticides sont classés soit obsolète ou dangereux pour l'environnement à cause de la persistance de leurs molécules (Dimitri W Wangrawa., *et al.* 2023).

Méthode

Prélèvement : Les prélèvements des échantillons composites de feuilles de maïs ont été réalisés dans les secteurs de Bla, dans le village de Nitia (12°58'48"N - 5°46'12'O - 5°45'36'O) et de Koutiala, dans les villages de M'pessoba ferme (12°37'12"N - 5°42'0'O - 5°41'24'O) et de l'Institut de Recherche de Coton sur les Textiles (IRCT) à N'Tarla (12° 37' 10 N - 5° 41' 20'O). Il a été prélevés

10 échantillons composites dans 10 champs de maïs distantes l'une de l'autre d'au moins 200 m. L'échantillonnage s'est déroulé le 15 septembre 2022 pendant le stade d'épiaison du maïs. Pour le prélèvement, sur la largeur du champ, à 10 m des deux bordures et au milieu, un échantillon composite composé de 3 répliques a été prélevé. Chaque réplique pèse 30 g de feuilles, soit 150 g de feuilles par hectare. Le prélèvement a été effectué dans la matinée dans un temps couvert. L'équipement employé pour le prélèvement a été désinfecté avec l'alcool 95 %. Les coordonnées géographiques des localités ont été enregistrées à l'aide de kobocollect (Fig.1). Chacun des répliques a été emballé dans du papier aluminium, et étiqueter correctement à l'aide du papier adhésif, puis, mises dans un sachet zip étiqueté. L'ensemble des répliques par parcelle sont placés dans un même sachet transparent, puis conserver à froid dans une glacière contenant de la glace. Les échantillons ont été accompagnés d'une fiche qui renseigne

clairement les codes attribués aux étiquettes ainsi que leurs significations.

Extraction et Analyse des échantillons : L'analyse pour la détection des molécules chimiques a été réalisée au laboratoire de toxicologie du LCV (Laboratoire Central Vétérinaire) de Bamako. Le protocole de QUECHERS (Quick Easy Cheap Effective Rugged and Safe) iso 10382 a été utilisé pour rechercher les résidus des pesticides. Le mode opératoire a consisté à rincer les échantillons de feuilles avec de l'acétone pour les débarrasser de toute autre source d'infection ou d'infestation. Ensuite, pour le broyage, ils sont découpés en petits morceaux sur le papier aluminium. Dans une cartouche de 50 ml de ce broyat, nous avons pesé 10g du broyat et ajouter 10ml d'acetonitrile. Le mélange a été secoué vigoureusement pendant une minute, Agité au vortex 2 minutes, Centrifugé à 3000 tours pendant 2 minutes et Pipeté 1ml d'échantillon dans la cartouche de C₁₈ ou de MgSO₄, et pipeter le surnageant dans le tube Vial pour la chromatographie. Les échantillons d'extrait des feuilles ont été analysés avec un chromatographe en phase gazeuse (CG). Il est muni d'un détecteur à capture d'électrons (CG- μ ECD, 7890A). Pour l'analyse de ces molécules chimiques, la chromatographique du type BP-5 (longueur 50 m, 0,22 mm de diamètre interne et 0,25 μ m d'épaisseur de film), phase stationnaire 5% diphenyl-95% diméthyle polysiloxane) ont été employés. L'azote de forte pureté (99,9%) a été employé comme le gaz vecteur. Le mode scan avec un volume d'injection de 1 μ L a été employé pour l'opération. Pour l'analyse, le

RÉSULTATS

Concentrations moyennes en résidus de pesticides dans les échantillons : Les résultats de l'analyse des échantillons composites des 10 parcelles des villages de N'Tarla et M'pessoba dans le secteur de Koutiala et Natia à Bla sont dans le tableau 1.

programme de température a été établi comme suit, température initiale du four, 70 °C pendant 2 min ; augmentée de 25 °C/min jusqu'à 180 °C, de 3 °C/min jusqu'à 200 °C, de 8 °C/min jusqu'à 280 °C et le maintien à cette température pendant 3min. La température de l'injecteur a été fixée à 280 °C avec une pression de gaz de 5,415 Psi et un débit de 3 mL/min. Le détecteur de masse a été mis en mode impact électronique avec une énergie de collision de 70 ev.

Étalonnage : Un mélange des solutions standards de pesticides est préparé par dilution de petites quantités d'étalons de haute pureté dans de l'hexane ainsi qu'une gamme d'analyse de cinq (5) niveaux différents aux concentrations ci-après ont été préparées (0,0625 ; 0,125 ; 0,25 ; 0,5 ; 1 ppm) et utilisées pour l'étalonnage du chromatographe.

Détermination des teneurs en résidus de pesticides dans les extraits : Les molécules chimiques ont été répertoriés par comparaison du temps de rétention de chacun à celui de chaque standard de pesticides. Les molécules de pesticides ont été quantifiées à partir des droites de calibration avec la formule $Y = ax + b$ (Y : aires des pics, a : pente et b : ordonnée à l'origine). Les coefficients de corrélations (r^2) ont été établis avec cinq points (0,0625 ; 0,125 ; 0,25 ; 0,5 ; 1 ppm) de dilutions à partir des solutions mères 500 μ g/mL dans l'hexane. Les limites de détection (LD) et de quantification (LQ) ont été calculées en fonction du bruit de fond (BF) du signal de l'appareil : (LD = 3 x bruit de fond et LQ = 10 x bruit de fond).

Il ressort que dans les villages de ces deux secteurs, 06 sur 10 des échantillons, soit 60 % de l'effectif total contiennent des résidus de pesticides qui dépassent la limite acceptée. Les molécules recherchées concernées par ce résultat, sont une pyréthrineoïde

(Deltaméthrine) et un isomère des organochlorés (O'P DDT). Parmi les parcelles positives en Deltaméthrine, il y'a 03 de Natia, 02 de N'Tarla, et 01 de M'pessoba. Les niveaux de concentrations de Deltaméthrine sont de l'ordre de 0,25 à 0,35 mg/ kg. Le Dichlore – Diphényl-Tétrachloréthane (DDT) a été détecté dans

04 échantillons sur 10 au total, soit 40 % des échantillons. Il s'agit 01 parcelle de N'Tarla et 03 de Natia. Les teneurs de DDT dans ces échantillons varient entre 0,09 à 0,91 mg / kg de feuilles de maïs. Ces concentrations sont supérieures aux normes recommandées dans le tableau 1 pour les pesticides recherchés.

Tableau 1 : Concentrations moyennes des pesticides détectés dans les feuilles de maïs prélevés au niveau des exploitations agricoles des secteurs Koutiala et de Bla (mg/kg).

Pesticides	Quantité de résidus dans les feuilles par parcelle de sites (mg/kg)									
	Secteur Koutiala					Secteur de Bla				
	N'Tarla		M'pessoba			Natia				
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Aldrine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Deltaméthrine	0,29	0,43	0,25	-	-	0,60	0,27	0,35	-	-
Dieldrine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acetamipride	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endosulfane A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endosulfane B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Imidaclopride	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Profenophos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OP'DDT	0,16			-	-	0,91	0,09	0,10	-	-
PP'DDT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- : Quantité de résidus de pesticide inférieure à la LQ

Proportion d'échantillon contaminée par secteur agricole: Les pourcentages de contamination des échantillons dans les secteurs de Koutiala et Bla sont consignés dans le (Fig. 2). Il ressort qu'à Koutiala, sur les 5 échantillons composites, le niveau de déltaméthrine a dépassé dans 3, soit 60 % des

échantillons de ce secteur. L'op'DDT a été retrouvé supérieur à la norme dans les deux autres échantillons, correspondant à 40%. Par contre, dans le secteur agricole de Bla, seulement 3 échantillons sur 5 abritaient en même temps les doses anormales de deltaméthrine et de l'op'DDT.

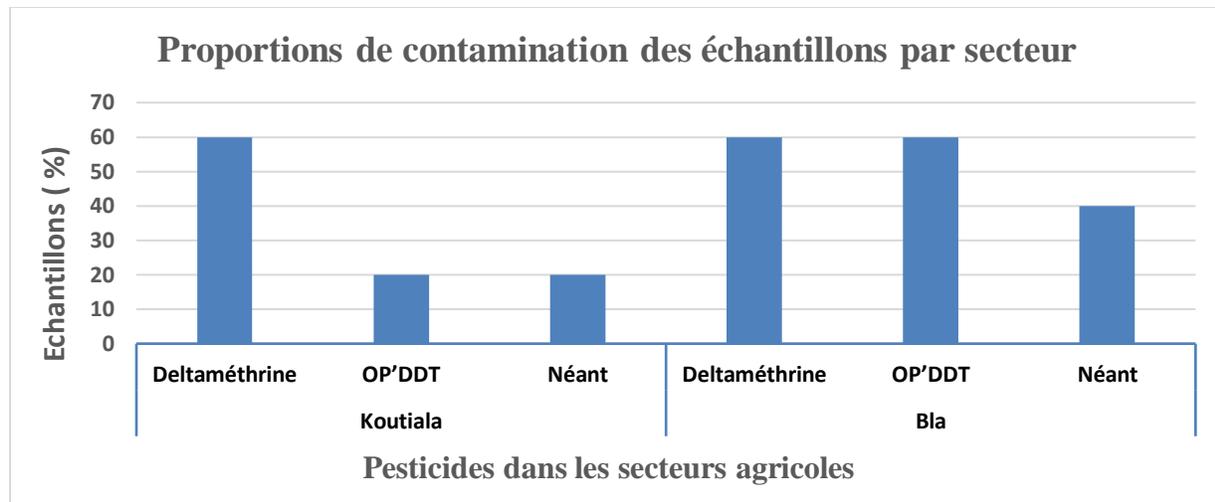


Figure 2 : Proportion des résidus dans les échantillons par secteurs

Limite de quantification des résidus de pesticides identifiés : Les limites de quantification évaluées des pesticides utilisés dans la présente étude ont permis d'obtenir une valeur de 0,002 mg/kg pour les molécules de l'endosulfane A, l'imidaclopride et le

Profenophos ; 0,003 pour les organochlorés Aldrine, la Dieldrine et OP'DDT. S'agissant des pesticides la deltaméthrine, l'acetamipride, l'endosulfane B et le PP'DDT la valeur de limite de quantification a été de 0,004 mg/Kg (Tableau 1).

Tableau 2 : Limites de quantification (LQ) des pesticides recherchés

Matières actives recherchées	LQ calculée en mg/kg feuilles
Aldrine	0,003
Deltaméthrine	0,004
Dieldrine	0,003
Acetamipride	0,004
Endosulfane A	0,002
Endosulfane B	0,004
Imidaclopride	0,002
Profenophos	0,002
OP'DDT	0,003
PP'DDT	0,004

DISCUSSION

Les résidus de pesticides retrouvés dans les échantillons de feuilles de maïs sont essentiellement des organochlorés (Op,p' DDT) pyréthriinoïdes (Deltaméthrine) à des seuils supérieurs à la norme. Ce résultat est similaire à ceux de (Gbénonchi, 2008) et (Okoffo, 2015) qui ont révélé la présence des résidus des pesticides de ces groupes dans les feuilles de maïs, niébé, sol, sédiment et l'eau.

Il s'agit notamment de l'aldrine, la dieldrine, le lindane, le p'p' DDT, l'endosulfan-sulfate, l'alpha-endosulfan, le bêta-hexachlorocyclohexane, le méthoxychlore et l'heptachlore au Ghana et au Togo. La proportion de deltaméthrine dans les échantillons des deux secteurs agricole est supérieure à celle de l'OP'DDT. Ce qui explique un usage massif de cette molécule

par les producteurs. Ce résultat corrobore avec celui de (Ngom *et al.*, 2012) ayant révélé la présence de Deltaméthrine dans 97% des échantillons de produits agricoles avec une fluctuation des concentrations en Deltaméthrine au-dessous de la limite maximale au Sénégal. Les teneurs de Deltaméthrine dans les 10 échantillons composites des sites sont entre 0,25 et 0,60 mg / kg de biomasse foliaire. Le Dichlore – Diphényl- Tétrachloréthane (DDT), est un organochloré persistant dont les molécules peuvent rester jusqu'à 12 ans après son application (OMS, 2004). Un de ses isomère (op' DDT) a été détecté dans 2 échantillons sur 10 au total, soit 20 % dans les échantillons de cette étude. Les concentrations de l'op' DDT sont de l'ordre de 0,09 à 0,91 dans le secteur de Koutiala et de Bla. Au Niger dans l'eau des marres, (Youchaou Tawaye *et al.*,

2021) ont détecté des teneurs se situant entre 0,01 à 0,18 mg / Kg et 0,08 à 0,11 mg / Kg) pour Aldrine, Dieldrine, DDT, Dimethoate, Profenophos, Fenthion, Dicofol et Lindane. Ces pesticides étaient couramment utilisés contre les insectes ravageurs du cotonnier, malgré que leur usage soit interdit dans certains pays du sahel (Agbohessi *et al.*, 2012); (Adjagodo *et al.*, 2016). La croissance de la production cotonnière va de pair avec celle du maïs dans l'assolement. Les producteurs moyens cultivent le coton pour avoir accès au crédit et aux intrants qu'ils divisent entre le coton et le maïs (Djouara *et al.*, 2006). Cela pourrait être à l'origine des résidus de ces pesticides dans les parcelles de maïs de ces sites qui sont aussi des zones cotonnières. Par ailleurs, aucun des autres pesticides recherchés n'a été détecté dans les échantillons.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

A l'issue de cette investigation, nous retenons qu'il existe des résidus de pesticides dépassant la limite de quantification requise dans les feuilles du maïs dans les secteurs de Bla et Koutiala. Les pesticides identifiés dont les teneurs dépassent les normes sont essentiellement du groupe des pyréthrinoides et organochlorés. La présence des pesticides non autorisés dans l'espace du comité sahélien des pesticides comme le DDT est le constat. Ainsi, la formation et la sensibilisation des producteurs sont nécessaires afin de favoriser une utilisation

raisonnée des pesticides de synthèses pour assurer une alimentation saine des hommes et de leurs bétails. Ce résultat permettra d'aviser les chercheurs et étudiants dans le cadre du repérage des parasitoïdes de *S. frugiperda* que les larves ou œufs mort(e)s dans les parcelles dites non traitées et / ou adjacentes à une zone traitée peuvent être dues à l'ingestion des résidus de pesticides dans les feuilles. Il en est de même pour les producteurs, les éleveurs des animaux ou consommateurs épis du maïs surtout frais.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le CCRP (Collaborative Crop Research Program) de la Fondation Mc Knight, Minneapolis et son équipe d'appui en méthodologie de recherche et de statistique (RMS) qui a soutenu ces travaux à travers les projets Sahel / IPM [18-096 ; 2018-2023] qui

couvre le Burkina Faso, le Mali et le Niger. Ces mêmes remerciements vont à l'endroit du laboratoire central vétérinaire du Mali dont les experts ont effectué les analyses des échantillons.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adjagodo, A., Agassounon Djikpo Tchiboza, M., Kelome, N. C., & Lawani, R. (2016). Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaîne trophique à travers le monde : synthèse bibliographique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(3), 1459. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.43>
- Agbohessi, T. P., Toko, I. I., & Kestemont, P. (2012). État des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le Bassin cotonnier béninois. *Cahiers Agricultures*, 21(1), 46–56. <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0535>
- Brévault, Thierry, and Pascal Clouvel. "Pest management: Reconciling farming practices and natural regulations." *Crop Protection* 115 (2019): 1-6.
- Djouara, H., Béières, J. F., & Kébé, D. (2006). Les exploitations agricoles familiales de la zone cotonnière du Mali face à la baisse des prix du coton-graine. *Cahiers Agricultures*, 15(1), 64–71.
- FAO. (2020). Appui d'urgence à la lutte contre la chenille légionnaire au Mali. 0–8.
- FAO, Sapaa. (2014). Note technique : Analyse des incitations par les prix du riz au Mali 2005-2012 Note technique : Analyse des incitations par les prix du riz au Mali 2005-2012. 42.
- FAO, Spaaa. (2013). Analyse Des Incitations Et Penalisations Pour Les Mais Au Mali. 43.
- Gbénonchi, M. (2008). Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures. *Article*, 207.
- Goergen, G., Kumar, P. L., Sankung, S. B., Togola, A., & Tamò, M. (2016). First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PLoS ONE*, 11(10). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0165632>
- M. Sangare (2021). Évaluation de l'efficacité du bio-pesticide Spodovir dans le cadre d'une gestion intégrée de la chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) en culture de maïs, *Zea mays* (L., 1753) à Sotuba (Mali). 2018–2019.
- Kodjo, T. A., & Agboka, K. (2022). 9164-IJBCS-Article- TCHAO Manguilibè Perceptions paysannes de la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera : Noctuidae) et méthodes de lutte en Farmers' perceptions of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *October*. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i5.11>
- Laminou, S., Ousmane, Z. M., Amadou, L., Rabe, M. M., & Boukari, I. B. (2022). Perception and Level of Knowledge of the Fall Armyworm (<i>Spodoptera frugiperda</i> J.E. Smith) by Maize Farmers in the Southern Agricultural Zone of Niger. *Agricultural Sciences*, 13(12), 1321–1333. <https://doi.org/10.4236/as.2022.1312081>
- Le Bars, M., Sissako, A., de Montgolfier, A., Sidibe, Y., Diarra, A., Sagara, A., & Koita, O. (2022). Usage des pesticides et impacts sur la santé des applicateurs en zone cotonnière du

- Mali. *Cahiers Agricultures*, 31, 24. <https://doi.org/10.1051/cagri/2022023>
- Matières, T. D. E. S. (2016). *Politique Nationale de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle ANALYSE DIAGNOSTIQUE DE LA SITUATION Septembre 2016*.
- mondiale de la Santé, O. (n.d.). *Questions fréquemment posées à propos de l'utilisation du DDT pour la lutte antivectorielle*.
- Ngom, S., Seydou, T., Thiam, M. B., & Anastasie, M. (2012). Contamination des produits agricoles et de la nappe phréatique par les pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 25, 119–130.
- Okoffo, E. D. (2015). *Pesticide Use and Pesticide Residues in Drinking Water, Soil and Cocoa Beans in the Dormaa West District of Ghana*. 59–87.
- Real, T., Compagny, I. P. M., Uni, R., Centrale, A., Faso, B., Uni, R., & Bioscience, A. (2012). *Les biopesticides de plus en plus préconisés mais peu utilisés en agriculture de l'Afrique de l'Ouest et du Centre Introduction But de l'atelier Présentations et discussions – Les biopesticides commercialisés à base d'arthropodes parasitoïdes et p.* 1–5.
- Sani, R. I., De, C., Cra, A. I. C., & Amadou, M. (2020). *Note de suivi de trois unités de production de biopesticide à base des graines de neem au niveau des villages de Danja, Sarkin Hatsi et Garin Maiganga (Région de Maradi)*. 1, 1–5.
- Sanogo, O. M., Doumbia, S., & Descheemaeker, K. (2020). Promotion of small ruminant farming by the women's groups of Nampossela and Nitabougoro in the Koutiala district of southern Mali. *Tropicicultura*, 38(1), 1–16. <https://doi.org/10.25518/2295-8010.1486>
- Semassa, A. J., Padonou, S. W., Anihouvi, V. B., Akissoé, N. H., Adjanohoun, A., & Baba-Moussa, L. (2016). Diversité Variétale, Qualité Et Utilisation Du Maïs (Zea Mays) En Afrique De l'Ouest : Revue Critique. *European Scientific Journal, ESJ*, 12(18), 197. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p197>
- Sissoko1, D., Konate1, L., Coulibaly1, M. M., Malle2, K., & Diakite1, D. (2020). Evaluation De La Rentabilité De La Culture Du Maïs En Zone Soudanienne Du Mali. *Revue Malienne de Science et de Technologie –ISSN 1987-1031 Série A : Sciences Naturelles, Agronomie, Techniques et Sciences de l'Ingénieur, Vol. 01 No(24)*, 3P.
- Toulouse, U., Paul, I. I. I., & Martin, T. (2003). *Discipline : chimie par La résistance aux insecticides de Helicoverpa armigera (Hübner) en Afrique de l'Ouest : du mécanisme à la gestion*.
- Qiu X, Zhu T. Using the o,p'-DDT/p,p'-DDT ratio to identify DDT sources in China. *Chemosphere*. 2010 Nov;81(8):1033-8. doi: 10.1016/j.chemosphere.2010.08.049. Epub 2010 Sep 20. PMID: 20851452.
- Youchaou Tawaye, A., Alhou, B., Elh, A., & Adamou, S. (2021). Niveau de contamination aux pesticides et risques écotoxicologiques dans deux écosystèmes aquatiques au Niger : Lac Guidimouni et mare de Tabalak. *Afrique SCIENCE*, 18(2), 1–13. <http://www.afriquescience.net>
- Zhang, D. Dan, Xiao, Y. Tao, Xu, P. Jun, Yang, X. Ming, Wu, Q. Lin, & Wu, K. Ming. (2021). Insecticide resistance monitoring for the invasive

populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3), 783–791. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63392-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63392-5).