

Durabilité de la production dans les zones cotonnières d'Afrique de l'Ouest.
Coordonnateurs : Mamy Soumare, Michel Havard, Bruno Bachelier

ARTICLE DE RECHERCHE / RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

Évaluation des risques liés à l'utilisation de pesticides en culture cotonnière au Mali

Marjorie Le Bars^{1,*}, Fatoumata Sidibe², Elisabeth Mandart³, Jacques Fabre³, Philippe Le Grusse⁴ et Cheick Hamalla Diakite⁵

¹ Institut de Recherche pour le Développement IRD-UMR GRED, Bamako, Mali

² Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée, (IPR/IFRA), Katibougou, Mali

³ Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (CIHEAM-IAMM), Montpellier, France

⁴ Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (CIHEAM-IAMM) UMR GRED, Montpellier, France

⁵ Institut d'Économie Rurale (IER) du Mali, Bamako, Mali

Résumé – Au Mali, l'usage des pesticides sur la culture de coton constitue un réel problème de santé publique et pour l'environnement. Cette étude porte sur les risques potentiels correspondant à la « dangerosité » des matières actives présentes dans les pesticides distribués pour le coton. Nous avons recensé 174 pesticides homologués par le Comité sahélien des pesticides (CSP) destinés à la culture du coton, dont 106 insecticides et fongicides et 68 herbicides. Ils sont formulés à partir de 50 matières actives ; 10 sont interdites en Europe et se retrouvent dans 35 produits homologués (soit 20 % des produits disponibles). Un indice de risque de toxicité (IRT) sur la santé des utilisateurs a été calculé pour chacune des 50 matières actives tenant compte de leurs toxicités aiguë et chronique. Il montre que la *pendiméthaline* et la *bifenthrine* ont les IRT les plus élevés respectivement pour les herbicides et les insecticides. Un indicateur de contamination des sols et des eaux de surface et souterraine par ces matières actives a été calculé. Il montre qu'une matière active peut présenter un risque important pour la santé et avoir un fort niveau de toxicité pour l'environnement ou avoir un faible impact sur la santé mais présenter un risque élevé pour l'environnement. Une sensibilisation des différents acteurs sur les risques encourus par les pesticides permettrait de réduire leurs impacts sur la santé humaine et l'environnement.

Mots clés : coton / pesticides / santé publique / environnement / Mali

Abstract – **Assessing potential risks regarding pesticides used in cotton production in Mali.** In Mali, pesticides used on cotton crops are a real public health and environmental problem. This study presents an analysis of potential risks corresponding to the “dangerousness” of active ingredient present in these pesticides for cotton. We identified 174 pesticides registered by the Sahel Pesticides Committee (CILSS-CSP) for cotton, including 106 insecticides and fungicides and 68 herbicides. They are formulated from 50 active ingredients; 10 are banned in Europe and are found in 35 registered products (20% of available products). For each active ingredient present in these pesticides, a Health Risk Index was calculated for the health of users. This indicator takes into account the acute and chronic toxicities of the different active ingredient. The results of our work show that, for herbicides, *pendimethalin* has the highest Health Risk Index; for insecticides, it is *bifenthrin*. We have also identified an indicator of soil, surface water and groundwater contamination by these active ingredients. The results show that an active ingredient could have a significant risk for health and have a high level of toxicity to the environment or have a low impact on health but have a high risk for the environment. Rising awareness among stakeholders about the risks of pesticides would reduce their impact on human health and environment.

Keywords: cotton / pests / public health / environment / Mali

*Auteur de correspondance : marjorie.le-bars@ird.fr

1 Introduction

L'Afrique est le continent qui utilise le moins de pesticides en volume, mais l'arsenal de ceux utilisés en agriculture est très vaste. Les informations concernant leur impact sur la santé et sur les écosystèmes sont rarement connues par les fournisseurs, les acteurs du développement agricole et les agriculteurs.

Au Mali, un des premiers producteurs de coton d'Afrique, la filière non biologique représente la part la plus importante de la production (Soumaré *et al.*, 2015). Cette dernière utilise à la fois l'apport d'engrais et celui de pesticides (fongicides, herbicides, insecticides). Afin de doubler ses productions en cinq ans (2014–2018), le gouvernement a augmenté les subventions aux engrais chimiques. L'utilisation des pesticides permet d'assurer un bon rendement de la culture de coton et de réduire les pertes liées aux ravageurs ou maladies (Adechian *et al.*, 2015). Ces pesticides sont principalement distribués par la Compagnie malienne pour le développement du textile (CMDT) mais les agriculteurs peuvent en trouver en complément chez les agro-fournisseurs et sur les marchés locaux.

Au Burkina Faso et au Bénin, des travaux ont été réalisés pour évaluer les risques sanitaires et environnementaux des pratiques phytosanitaires sur cotonnier (Adechian *et al.*, 2015 ; Djagni et Fok, 2019). Ils soulèvent une mauvaise connaissance, de la part des agriculteurs, des matières actives qu'ils utilisent, des doses à appliquer, des fréquences de traitement et de leurs effets sur la santé humaine et sur l'environnement (Mamane, 2015). Des pesticides obsolètes ou non homologués sont trouvés régulièrement sur les marchés ou chez les agriculteurs. Pourtant, les États membres du Comité inter-États de lutte contre la sécheresse au Sahel (CILSS) ont signé en 1992 une réglementation commune pour l'homologation des pesticides (CILSS, 1999). Ainsi, le Comité sahélien des pesticides (CSP), organe d'exécution du CILSS, évalue chaque année les dossiers d'homologation de pesticides soumis par les firmes phytopharmaceutiques et octroie les autorisations de vente pour l'ensemble des États membres.

Au Mali, il existe peu d'études sur les risques sur la santé des populations rurales et sur l'environnement de ces pesticides destinés à la culture du coton (Kergna *et al.*, 2018). C'est dans ce contexte que notre étude a été menée sur les pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) destinés à la culture du coton. Pour une question d'éthique, nous avons fait délibérément le choix de ne pas citer le nom de ces pesticides, mais de présenter nos résultats sur les différentes matières actives présentes dans ces pesticides. Nous ne tiendrons pas compte du niveau d'exposition aux pesticides des agriculteurs, car nous n'avons pas réalisé d'enquêtes de terrain sur les itinéraires techniques suivis par les agriculteurs. Les objectifs de ce texte sont les suivants : (i) identifier l'ensemble des matières actives utilisées présentes dans les pesticides homologués par le CSP pour les États membres du CILSS dont le Mali ; (ii) déterminer pour les différentes matières actives, celles à plus haut risque pour la santé et la pollution des eaux et des sols en tenant compte de leurs caractéristiques physicochimiques ; (iii) sensibiliser les acteurs du développement agricole et les pouvoirs publics aux risques de ces matières actives sur la santé et l'environnement dans le but de les amener à proposer des alternatives aux pesticides les plus nocifs.

2 Méthode

Pour mener à bien cette étude, nous avons procédé (i) à la collecte des données sur les pesticides et les matières actives disponibles pour la culture du coton et ceux utilisés au Mali, (ii) pour chaque matière active homologuée par le CSP au calcul de l'indice du risque de toxicité et à la détermination du potentiel de lessivage tenant compte des propriétés physico-chimiques de chaque matière active.

2.1 Collecte des données sur les pesticides pour la culture du coton

L'inventaire des pesticides disponibles a été réalisé durant la campagne 2016/2017 et remis à jour en 2018 et 2019 à partir : (i) d'enquêtes réalisées auprès des boutiques et des vendeurs sur les marchés locaux (zones de Sikasso, Bougouni et Kita) afin de déterminer les pesticides disponibles à la vente, voir s'ils sont homologués ou non et compléter la liste fournie par le CSP (Comité sahélien des pesticides, 2018, 2019) ; (ii) d'enquêtes effectuées auprès d'un échantillon de 59 producteurs de coton dans la région de Kita, commune de Bougaribaya (zone CMDT) pour permettre d'avoir un aperçu non exhaustif des pesticides utilisés car il y a plusieurs dizaines de milliers de producteurs de coton ; (iii) des données fournies par la CMDT.

Les données sur les matières actives proviennent de la base de données européenne footprint mise à jour tous les mois (Lin *et al.*, 2016). Les données collectées pour chaque pesticide disponible sont : la ou les matières actives associées et leur famille chimique, leur concentration, les doses homologuées, la firme qui les fabrique, le fournisseur au Mali et son homologation ou non par le CSP. Ces données ont été saisies dans le tableur Excel et traitées par le logiciel EtoPhy (Caubel *et al.*, 2019).

2.2 Indice de risque de toxicité (IRT) d'une matière active

L'IRT est un indicateur lié aux propriétés physicochimiques des matières actives (Samuel *et al.*, 2012). Il se calcule selon la formule suivante :

$$\text{IRT} = \left[\sum \text{Risques aigus} + \left(\sum \text{Risques chroniques} \times \text{FPER} \right) \right]^2.$$

Le risque de toxicité aiguë correspond à ce qui est perçu directement par l'Homme lors de l'application des pesticides. Il est déterminé selon sept critères : toxicité orale (en fonction de la dose létale médiane [DL₅₀]), toxicité cutanée (en fonction de la DL₅₀), toxicité inhalation (en fonction de la concentration létale moyenne [CL₅₀]), irritations cutanée, oculaire, respiratoire et de sensibilisation.

Le risque de toxicité chronique correspond aux risques sur le long terme suite à l'application répétée de pesticides. Il est déterminé selon cinq critères : cancérigène, perturbateur endocrinien, neurotoxique, reproduction et développement, effets cumulés en tenant compte du facteur de persistance dans

les tissus (F_{per}) qui dépend du facteur de bioaccumulation et de la demi-vie de la molécule active (DT₅₀).

Le logiciel EtoPhy donne pour chaque matière active l'ensemble des indicateurs de toxicités aiguë et chronique, permettant de calculer l'IRT.

2.3 Indicateur de contamination des eaux souterraines par les pesticides

Il s'agit de déterminer le potentiel de lessivage de chaque matière active à partir de ses propriétés physicochimiques, à l'aide d'un indice intitulé GUS (*Groundwater Ubiquity Score*). Celui-ci permet de calculer le potentiel d'un pesticide à contaminer l'eau souterraine par lessivage et l'eau de surface par l'infiltration *via* les systèmes de drainage. Cet indice se base sur deux propriétés physico-chimiques d'un composé : le coefficient d'adsorption sur le carbone organique (K_{oc} en ml/g) et de sa demi-vie dans les sols. L'indice de GUS se détermine selon la formule suivante :

$$GUS = \log[(DT_{50}) \times (4 - \log(K_{oc}))].$$

Son interprétation est la suivante : le potentiel de lessivage est faible si l'indice de GUS < 1,8, moyen si l'indice de GUS est ≥ 1,8 et < 2,8 et élevé si l'indice de GUS ≥ 2,8.

3 Résultats

3.1 Diversité des pesticides homologués pour le coton

Parmi les 55 pesticides identifiés lors des enquêtes auprès des fournisseurs, CMDT et agriculteurs, un herbicide utilisé n'est pas sur la liste des 174 pesticides homologués par le CSP pour la culture de coton : 106 insecticides et fongicides et 68 herbicides. Ces 174 pesticides sont formulés à partir de 50 matières actives dont 10 sont interdites en Europe et se retrouvent dans 35 pesticides homologués (soit 20 % des pesticides disponibles) (Tab. 1). Ils sont sous forme de formulation simple (84 pesticides), binaire (80 pesticides) ou ternaire (9 pesticides).

Dix-neuf matières actives (8 non homologuées en Europe) entrent dans la composition des 68 herbicides. Elles sont réparties dans 12 familles chimiques (Tab. 1). Parmi celles-ci, les *phénylurées* et les *sulfonylurées*, les *triazines*, les *chloroacétamides* et les *aryloxyphenoxypropionate* présentent des matières actives retirées de l'homologation en Europe pour leur risque très élevé pour la santé ou pour leur écotoxicité. Dans la famille des *chloroacétamides* peu solubles dans l'eau et provoquant des problèmes d'accumulation dans les organismes et les sols, la matière active *acétochlore* se retrouve dans trois herbicides homologués en 2018 mais supprimés en 2019. Par contre, le *métolachlore* est toujours présent dans 4 pesticides homologués. Dans la famille des *triazines* qui a un rôle très important dans la contamination des eaux souterraines, nous retrouvons deux matières actives qui ne sont plus homologuées en Europe depuis les années 2000 : le *terbutryne* et la *prometryne* (seules ou associées dans 11 herbicides homologués). Le *diuron* (famille des *phénylurées*), présent dans quatre herbicides homologués, a été interdit dans les années 2000 en Europe pour son impact important sur la

santé (Tab. 1) et sur l'environnement (toxique pour les poissons et les invertébrés aquatiques).

Trente et une matières actives entrent dans la composition des 106 insecticides et fongicides. Elles sont réparties en 2 grandes classes : les biopesticides (3 molécules actives) et les pesticides standards (28 molécules) issus de 16 familles chimiques (Tab. 2). La famille des *pyréthrinoides* domine le marché mondial des insecticides : 7 matières actives dans 35 % des insecticides. Pour les biopesticides, 3 matières actives : *emamectine benzoate*, *spinosad*, *abamectine* se retrouvent seules ou associées dans 17 insecticides. Sur les 28 autres matières actives présentes dans 89 insecticides et fongicides, 4 ne sont plus homologuées en Europe (*chlorofluazuron*, *Thirame* [fongicide], *profenofos*, *perméthrine*). En effet, la *perméthrine* présente des risques pour la santé à long terme, et une toxicité très élevée pour le milieu aquatique. Le *profenofos* (alternative à l'*endosulfan*) de la famille des *organophosphorés*, distribué pour la campagne 2016–2017, se retrouve seul ou associé dans dix-neuf insecticides (20 % des produits) et présente un risque majeur pour la santé (neurotoxique sévère).

L'enquête menée auprès d'un échantillon de 59 agriculteurs est un aperçu sur les pesticides distribués et réellement utilisés sur la culture de coton : 4 insecticides homologués CSP contenant 7 matières actives (Tab. 2) dont 2 non homologuées en Europe (*thirame* et *profenofos*) et 4 herbicides, dont un non homologué par le CSP qui contient de la *quizalofop-p-ethyl*, homologuée en Europe (Tab. 1). Les 3 autres herbicides sont formulés à partir de 5 matières actives, dont la *prometryne* interdite en Europe. Les produits distribués aux agriculteurs interrogés présentent des risques de toxicité élevés : IRT variant de 810 à 84 (Tab. 1 et 2).

3.2 Risque de toxicité (IRT) pour les herbicides

Sur les 19 matières actives de la liste CSP, treize ont un risque de toxicité aiguë plus important que le risque chronique (68 %) (Tab. 1). L'IRT varie de 548 à 48. La *pendiméthaline* présente le risque le plus élevé pour la santé à long terme (reproduction et développement) car son facteur de persistance dans les tissus est très important. Cette matière active se retrouve seule dans neuf herbicides (15 % des pesticides). Le *diuron* se distingue des autres matières actives par son risque de toxicité aiguë le plus important par inhalation, irritations cutanée, oculaire et respiratoire. Sur le long terme, il entraîne des risques élevés de cancer par effet cumulatif important. Il est interdit dans les pays européens depuis les années 2000. Au Mali, on le retrouve dans quatre herbicides dont les autorisations d'homologation par le CSP n'expirent pas avant 2021, voire 2023 pour l'un d'entre eux. Pour les autres matières actives, les IRT sont largement moins élevés et les niveaux de risque de toxicité aiguë et chronique variables. Certaines matières actives ont un risque chronique plus important que le risque aigu : *pendiméthaline*, *propaquizafop*, *fluometuron*, *oxyfluorfen*, *terbutryne*, *prometryne*. Sur les 68 produits recensés, ces matières actives se retrouvent seules ou associées dans 21 produits (30,5 %). La *terbutryne* et la *prometryne*, qui sont suspendues d'homologation en Europe pour leurs risques avérés sur la santé, sont retrouvées dans 11 de ces 21 produits homologués par le CSP.

Tableau 1. IRT pour les 19 matières actives présentes dans les herbicides : liste CSP, fournisseurs et enquêtes producteurs.
Table 1. Herbicides: IRT for 19 active ingredients.

Famille chimique	Nom matière active	Mat. active identifiée chez les fournisseurs	Mat. active agricoleurs / CMDT	Toxicité cutanée	Toxicité orale	Toxicité inhalation	Irritation cutanée	Irritation oculaire	Irritation respiratoire	Sensibilisation	Toxicité aiguë	Facteur persistance	Cancer endocrinien	Perturbateur développement	Reproduction/ développement	Neurotoxicité	Effets cumulatifs	Toxicité chronique	IRT mat. active ensemble pesticides
Dinitroanilines (1) Phénylurées (2)	Pendiméthaline	x	x	2	2	2	8	8	8	4	34	2,5	4	4	8	0	0	40	548
	Diuron			2	4	16	8	8	8	0	46	1	8	4	4	0	8	24	490
Chloroacétamides (3)	Fluométron	x	x	4	2	4	0	0	8	0	18	1,5	8	1	8	0	0	25,5	189
	s-métolachlore			4	2	4	0	0	4	8	22	2	4	4	0	1	0	18	160
	Métolachlore			2	4	4	8	8	0	4	30	1,5	0	4	4	0	0	12	176
	Acétochlore			4	4	4	8	0	4	4	28	1	4	4	8	0	0	16	194
Oxyacétamides (1)	Flufenacet			4	4	4	8	8	4	4	36	1,5	0	1	1	0	8	15	260
Sulfonyles (1)	Trifloxysulfuron-sodium	x	x	4	2	2	8	8	8	0	32	2,5	0	0	1	0	0	2,5	119
Organophosphoré (1) Aryloxyphenoxypropionate (3)	Glyphosate	x		4	4	4	8	16	0	0	36	1	4	1	0	0	0	5	168
	Aryloxyphenoxypropionate Fluazifop-P-butyl	x		2	2	2	4	0	4	4	18	2	0	0	8	0	8	32	250
Triazines (2)	Propaquizafop			4	2	4	0	0	1	4	15	2	8	1	4	0	0	26	168
	Haloxifop-P-méthyl	x		4	8	0	8	8	4	0	32	1	0	1	0	0	0	1	109
	Terbutryne			4	2	4	0	8	0	0	18	1,5	4	8	1	0	0	19,5	141
Cyclohexanes diones (2)	Prométryne	x	x	2	4	2	0	4	4	0	16	1,5	0	8	0	4	0	18	116
	Cycloxydime			4	2	2	8	8	0	0	24	1	0	1	8	0	0	9	109
Ethers de Diphenyle (1)	Gléthodime	x		2	4	4	8	0	0	0	18	1	0	0	4	0	0	4	48
	Oxyfluorène			2	2	4	0	0	0	0	8	2,5	8	1	1	0	0	25	109
Carboxamides (1) Isoxazolines (1)	Diflufenicamil			4	2	2	0	8	4	0	20	2,5	0	1	4	0	0	12,5	106
	Clomazone			4	4	4	1	1	1	0	15	1,5	0	1	4	0	0	7,5	51

Légende : Les molécules en gras correspondent aux huit (8) matières actives non homologuées en Europe. Les valeurs correspondent à un risque de toxicité calculé en fonction des phases de risques européennes et des données complémentaires qui sont toutes répertoriées dans la base FootPrint. Plus les valeurs sont élevées, plus le risque est élevé. Mat. active agricoleurs/CMDT : matières actives identifiées dans les enquêtes auprès des agriculteurs/CMDT ; IRT Mat. active ensemble pesticides : matières actives présentes dans les pesticides homologués par le CSP.

Tableau 2. IRT pour les 31 matières actives présentes dans les 28 insecticides et les 3 fongicides : liste CSP, fournisseurs et enquêtes producteurs.
Table 2. *Insecticides: IRT for 31 active ingredients.*

Famille chimique	Nom matière active	Mat. active identifiée chez les fournisseurs	Mat. actives agriculteurs / CMDT	Toxicité cutanée / irritation oculaire	Toxicité orale / inhalation	Toxicité cutanée oculaire	Irritation oculaire	Irritation respiratoire	Sensibilisation	Toxicité aiguë	Facteur persistance	Cancer endocrinien	Perturbateur endocrinien	Reproduction/ développement	Neurotoxicité	Effets cumulatifs chroniques	Toxicité chronique	IRT mat. active ensemble pesticides
Pyréthrinoides (6)	Bifenthrine			4	8	4	4	0	1	4	25	2,5	8	8	4	16	110	1823
	Perméthrine			4	4	8	8	4	4	40	2	4	8	8	8	0	56	922
	Cyperméthrine	x	x	4	8	4	8	4	0	36	2,5	4	4	4	0	8	50	740
	Lambda-cyhalothrine	x		8	8	16	4	8	4	56	2,5	0	4	4	0	0	20	578
	Deltaméthrine			4	8	8	0	0	0	20	2,5	0	8	4	8	0	50	490
Avermectines (2)	Béta-cyfluthrin	x		2	8	16	1	1	0	29	2	0	4	4	8	0	32	372
	<i>Émamectine benzoate</i>	x		8	8	8	0	16	1	41	1,5	0	1	4	4	16	37,5	616
Organophosphorés (3)	<i>Abamectine</i>			8	16	16	8	4	1	0	53	1,5	0	8	4	16	42	903
	Chlorpyrifos-éthyl	x		4	8	16	4	4	0	40	2,5	0	4	8	8	0	50	810
	Malathion			4	4	4	0	4	4	20	2	4	4	4	8	0	40	360
	Profenofos	x		8	4	4	8	4	1	29	2,5	0	1	0	8	0	22,5	265
Oxadiazine (1)	Indoxacarb			2	8	2	8	8	0	32	2	0	4	4	8	16	64	922
Benzoxylurées (4)	Chlorfluzaron			8	2	4	1	8	1	24	2,5	1	1	1	1	0	10	116
	Diflubenzuron			4	2	4	0	8	8	26	2	0	0	0	0	0	0	68
Spinosynes (2)	TDéflubenzuron	x		4	2	2	4	4	8	24	2	8	1	0	1	0	20	194
	Lufenuron			4	4	4	4	4	4	28	2,5	0	0	4	0	8	30	336
Néonicotinoides (4)	Spinetoram			2	2	4	4	1	4	21	2	0	0	8	0	8	32	281
	<i>Spinosad</i>			2	4	2	8	8	1	25	1	0	0	1	0	0	1	68
	Thiaclopride			4	4	16	0	0	0	24	1,5	4	1	1	1	0	10,5	119
	Imidaclopride	x	x	2	8	16	4	4	0	34	1	0	1	8	4	0	13	221
Thiazolidinones (1)	Acétamipride	x		4	8	4	8	4	0	28	1	0	1	0	0	0	1	84
	Thiamethoxame			4	4	4	4	0	0	16	2	4	0	0	0	0	8	58
Kétoénols (1)	Flubendiamide			0	2	0	8	8	1	19	2,5	1	1	1	1	0	10	84
	Spirotéramate	x		4	4	4	0	8	1	25	1	0	0	16	0	0	16	168
Sulfoximines (1)	Sulfoxaflor			2	4	4	0	0	0	10	1	4	1	4	1	0	10	40
	dérivés des pyridines (1)			4	2	4	0	0	0	10	2,5	0	1	0	0	0	2,5	16
Diamides anthraniliques (1)	Chlorantraniliprole			2	2	2	0	4	1	11	1	0	0	4	0	0	4	23
	Cyantraniliprole			2	2	2	0	0	1	11	1	0	1	0	0	0	1	14
Carbamates (1)	Thirame^a	x		4	4	4	8	8	4	36	1	4	4	4	1	8	21	325
	Phénylamides (1)			4	4	4	4	16	1	37	1	0	1	0	0	0	1	144
Phénylpyrrole (1)	Fludioxonil ^a			4	2	4	4	8	0	26	2	4	1	4	0	0	18	194

Légende : en gras, les quatre (4) matières actives qui ne sont plus homologuées en Europe. En italique les trois (3) matières actives présentes dans les biopesticides. Mat. active agriculteurs/CMDT : matières actives identifiées dans les enquêtes auprès des agriculteurs/CMDT ; IRT Mat. active ensemble pesticides : matières actives présentes dans les pesticides homologués par le CSP.
^a Fongicides

Tableau 3. Indicateur de mobilité des 19 matières actives pour les herbicides.**Table 3.** *Herbicide: index of mobility for 19 active ingredients.*

Matière active		DT ₅₀	K _{oc}	GUS
Classe	Nom			
Faible potentiel de lessivage	Cléthodime	3	22,7	-0,69
	Cycloxadime	5	59	-0,42
	Pendiméthaline	100,6	17 491	-0,32
	Glyphosate	23,79	1424	-0,25
	Fluazifop-p-butyl	1	3394	0
	Haloxyfop-R-méthyl	0,5	No data	0
	Propaquizafop	85	/	0
	Oxyfluorène	73	0	0
	Diflufénicanil	315	1996	1,51
Potentiel moyen de lessivage	Acetochlore	12,1	156	1,58
	Diuron	89	813	1,83
	s-métolachlore	21	226,1	1,91
	Métolachlore	21	120	2,1
	Flufénacet	40	401	2,23
	Prométryne	41	400	2,25
	Terbutryne	52	2432	2,4
	Trifloxysulfuron-sodium	70	306	2,73
	Potentiel de lessivage élevé	Clomazone	42,5	300
Fluometuron		89,8	67,4	3,92

Légende : en gras, les six (6) matières actives qui ne sont plus homologuées en Europe ; DT₅₀ : temps de demi-vie dans le sol ; K_{oc} : coefficient d'adsorption sur le carbone organique ; GUS : Groundwater Ubiquity Score.

3.3 Risque de toxicité (IRT) pour les insecticides

Le risque de toxicité aiguë, de toxicité chronique et l'IRT ont été déterminés par matière active (Tab. 2) pour l'ensemble des insecticides et fongicides. Douze (37,5 %) des 31 matières actives ont un risque de toxicité chronique supérieur à leur risque de toxicité aiguë. Leur IRT varie de 1823 à 14. La famille des *pyréthriinoïdes* présente les risques pour la santé sur le long terme les plus importants : 41 (38,6 %) pesticides sur les 106 disponibles. La *bifenthrine* est la matière active qui a un risque de toxicité le plus élevée (IRT de 1823) et présente un risque de toxicité chronique très important. Son facteur de persistance dans les tissus est très élevé ce qui en fait une matière active considérée comme fortement cancérigène. L'*indoxacarbe* présente des risques importants pour le système nerveux (neurotoxique). Sur le long terme, la *perméthrine*, perturbateur endocrinien, a un niveau de risque extrêmement élevé sur la reproduction, le système nerveux (neurotoxique). C'est un facteur de bioaccumulation important dans les tissus. Le *chlorpyrifos-éthyl*, la *cyperméthrine* et la *deltaméthrine* présentent aussi des risques élevés pour la santé sur le long terme.

Concernant les biopesticides, l'*abamectine* et l'*emamectine benzoate* présentent des risques de toxicité aiguë élevés par voie orale et par inhalation.

3.4 Indicateur de contamination des sols et des eaux par les herbicides

Trois classes se distinguent pour les herbicides (Tab. 3). Sur les 19 matières actives présentes dans les herbicides, 10 ont un faible potentiel de lessivage (GUS inférieur à 1,8). La

pendiméthaline est fortement absorbée au sol (avec K_{oc} > 10 000 ml/g) et persistante dans les sols. Le *glyphosate* est faiblement persistant dans les sols (DT₅₀ de 24 jours). Il est légèrement mobile à immobile dans les sols avec un potentiel de lessivage faible. Il n'est donc pas susceptible de contaminer les eaux souterraines.

Sept matières actives ont un potentiel de lessivage moyen (GUS compris entre 1,8 et 2,8). La constante d'absorption du *diuron* sur le carbone organique est peu élevée (K_{oc} de 800 mg/l). Il est donc modérément mobile dans les sols. Sa persistance dans les sols est importante (89 jours) et, à fortes doses, les résidus peuvent persister plus d'un an et contaminer fortement les eaux souterraines par lessivage des sols. Le *métolachlore*, la *prométryne*, le *terbutryne* et le *trifloxysulfuron-sodium* (interdits en Europe) ont aussi un potentiel de lessivage moyen. La *prométryne* est faiblement absorbée (K_{oc} de 400 ml/g). Son potentiel de lessivage est relativement élevé et elle peut donc contaminer les eaux souterraines par lixiviation. Ce qui est aussi le cas du *trifloxysulfuron-sodium*.

Deux matières actives présentent un potentiel de lessivage élevé (GUS supérieur ou égal à 2,8). Parmi elles, le *clomazone* est mobile mais faiblement persistant dans les sols. Il peut donc contaminer les eaux souterraines par lixiviation et les eaux de surface par ruissellement.

3.5 Indicateur de contamination des sols et des eaux par les insecticides

Sur les 31 matières actives présentes dans les insecticides (y compris les biopesticides), 25 sont peu mobiles (80 %) avec

Tableau 4. Indicateurs de mobilité des 31 matières actives présentes dans les insecticides.**Table 4.** *Insecticide: Index of mobility for 31 active ingredients.*

Matière active		DT ₅₀	K _{oc}	GUS
Classe	Nom			
Faible potentiel de lessivage	Deltaméthrine	21,0	10 240 000	-4,26
	Lambda-cyhalothrine	26,9	283 707	-3,28
	Bifenthrine	86,8	236 610	-2,76
	Fludioxonyl	20,5	145 600	-2,67
	Cyperméthrine	69,0	156 250	-2,19
	Perméthrine	42	100 000	-1,62
	Betacyfluthrine	13,0	64 300	-1,17
	Spirotetramat	0,70	289	-1,12
	Teflubenzuron	13,7	26 062	-0,82
	Lufenuron	256,0	41 182	-0,81
	<i>Spinosad</i>	15,0	34 600	-0,63
	Chlofluazuron	0,00	20 800	-0,62
	Pyriproxifène	4,2	21 175	-0,27
	<i>Emamectine benzoate</i>	1,1	377 000	-0,06
	<i>Abamectine</i>	1,0	6631	0,00
	Malathion	1,0	1800	0,00
	Thiaclopride	18,0	0,00	0,00
	Thirame	15,0	9629	0,01
	Indoxacarbe	20,0	6450	0,13
	Chlorpyrifos-éthyl	21,0	8151	0,17
	Diflubenzuron	3,0	4620	0,17
	Acétamipride	3,0	200	0,40
	Profenofos	7,0	2016	0,59
Spinetoram	2,8	22 836	0,72	
Sulfoxaflor	3,54	40,80	1,31	
Potentiel moyen de lessivage	Cyantranilprole	34,4	241	2,63
	Métalaxyle-M	38,7	162	2,79
Potentiel de lessivage élevé	Chlorantranilprole	204	362	3,33
	Imidaclopride	174,0	225	3,74
	Flubendiamide	500,0	2197	3,98
	Thiaméthoxame	39,0	56	4,69

Légende : en gras, les quatre (4) matières actives qui ne sont plus homologuées en Europe. En italique, les trois (3) matières actives présentes dans les biopesticides. DT₅₀ : temps de demi-vie dans le sol ; K_{oc} : coefficient d'adsorption sur le carbone organique ; GUS : Groundwater Ubiquity Score.

un indice GUS inférieur à 1,8 (Tab. 4). La *deltaméthrine*, la *lambda-cyhalothrine*, la *bifenthrine*, le *fludioxonyl*, la *cyperméthrine* et la *perméthrine* ont une constante d'absorption sur le carbone organique très élevée (K_{oc} > 10 000 mg/l). Ces 6 matières actives ayant un faible potentiel de lessivage sont immobiles dans les sols mais peuvent contaminer les eaux de surface par ruissellement. Les autres matières actives présentes dans 37 % des insecticides sont faiblement persistantes dans les sols (DT₅₀ inférieure à 20 jours). Elles ont aussi un potentiel de lessivage faible mais sont légèrement mobiles dans les sols et se dégradent très rapidement par hydrolyse dans les milieux neutres et alcalins.

Deux matières actives ont un potentiel de lessivage moyen (indice GUS compris entre 1,8 et 2,8) : la *cyantranilprole* et le *métalaxyle*. La constante d'absorption du *métalaxyle* sur le

carbone organique est peu élevée (K_{oc} de 162 mg/l). Il est donc modérément mobile et persistant dans les sols (DT₅₀ de 40 jours).

Quatre matières actives présentes dans 20 % des insecticides pour le coton ont un potentiel de lessivage élevé (indice GUS supérieur ou égal à 2,8). Par exemple, le *chlorantranilprole* (interdit en Europe) est modérément mobile dans les sols (K_{oc} de 362 ml/g). Etant donné qu'il est persistant (DT₅₀ de plus de 200 jours), son potentiel de lessivage est élevé. Il peut donc contaminer fortement les eaux de surface par ruissellement. Par contre, le *thiaméthoxame* a une constante d'absorption sur le carbone organique faible (56 mg/l). Ceci indique qu'il est très mobile dans les sols. Son potentiel de lessivage est le plus élevé et présente un risque important de contamination des eaux souterraines.

4 Discussions et conclusion

Nos travaux montrent un nombre important de pesticides disponibles pour la culture de coton (174). Le plus souvent, les études réalisées sur les pesticides recensent les différents problèmes sanitaires mentionnés par les agriculteurs (Kanda *et al.*, 2013). Par contre, les risques de toxicité chronique d'une matière active difficilement identifiables sur le court terme sont peu mentionnés dans la littérature bien qu'ils représentent un enjeu de santé publique majeur. Les risques sur la santé sont différents selon les matières actives présentes dans les herbicides et les insecticides. L'utilisateur se méfiera moins d'une matière active qui présente un faible risque de toxicité aiguë, alors qu'elle pourra présenter un risque élevé de toxicité chronique. Un des cas les plus significatifs concerne les nombreux insecticides à base de *pyréthrinoides* utilisés depuis de nombreuses années pour lutter, entre autres, contre la chenille *Helicoverpa armigera*. Les matières actives de cette famille chimique ont un risque pour la santé modéré sur le court terme, mais élevé sur le long terme et elles ont montré leur inefficacité vis-à-vis de cette chenille. Les producteurs continuent pourtant à utiliser ces matières actives et augmentent le nombre de traitements pour limiter sa propagation (Gouda *et al.*, 2018).

Une matière active peut aussi avoir un IRT élevé mais être présente en faible concentration dans les pesticides ou l'inverse. Par exemple, pour les insecticides, la *bifenthrine* a l'IRT le plus important mais n'est présente qu'en concentration faible dans les produits (120 g/l). À la différence du *profenofos*, qui a un IRT peu élevé mais est présent à des concentrations qui varient de 500 à 600 g/l dans les pesticides. Ces différences de concentration des produits et de combinaison des matières actives sont importantes à prendre en compte dans le choix des pesticides.

Au Mali, la CMDT préconise pour chaque campagne agricole un nombre de pesticides à l'ensemble des producteurs de la zone cotonnière. On peut donc penser que l'enquête menée auprès des 59 agriculteurs de la région de Kita est représentative des pesticides réellement utilisés pour les différentes campagnes concernées (2016/2017 et 2018/2019). Parmi les 8 pesticides recensés, certains contiennent des matières actives non homologuées en Europe, mais ce ne sont pas celles les plus à risques. Le nombre de pesticides fournis est très faible (4,5 %) par rapport au nombre total de pesticides proposés (174), mais ils contiennent 12, soit 22,2 %, des 50 matières actives homologuées. Ceci montre donc l'importance de travailler sur les matières actives et non sur les dénominations commerciales. En effet, certains pesticides peuvent ne plus être homologués et être remplacés par d'autres contenant la même matière active (insecticides à base de *perméthrine* par exemple).

Concernant l'homologation des produits, il est plus facile de se baser sur les critères de toxicité aiguë d'une matière active que sur ses risques de toxicité sur le long terme. En Afrique subsaharienne, il est plus difficile d'établir une corrélation entre la toxicité chronique des matières actives et l'utilisation des pesticides qui y est récente et l'espérance de vie plus courte : 58 ans au Mali (OMS, 2019). Actuellement, les organismes décideurs des homologations des produits

phytosanitaires au Sahel se basent essentiellement sur la toxicité aiguë, considérant qu'il n'existe pas de liens scientifiques éprouvés entre l'utilisation des pesticides et la toxicité chronique. Il pourrait être envisagé de tenir compte des homologations européennes pour la toxicité chronique (entre autres pour les risques liés à la fertilité et au développement), bien que les priorités sanitaires ne soient pas les mêmes, en particulier pour la gestion des insecticides utilisés plus largement en Afrique en santé publique (lutte contre le paludisme par exemple). À titre d'exemple, il existe beaucoup d'insecticides utilisés en santé publique et la *perméthrine*, qui a un IRT de 922, pourrait être remplacée par une autre matière active à moindre risque. Se posent aussi les questions de l'intérêt, de l'efficacité, des effets sur la santé des populations et sur l'environnement de l'utilisation des pesticides combinant plusieurs matières actives à des concentrations différentes selon les contextes spécifiques : types et importances des ravageurs, des maladies, et des adventices.

Enfin, pour la santé publique, il faut tenir compte des données de mobilité des matières actives, car les eaux de surface ou des puits sont utilisées quotidiennement pour l'alimentation. Le calcul de la mobilité des matières actives permet de déterminer leurs devenir dans les eaux de surface ou souterraines, que ce soit par ruissellement ou par lixiviation. Compte tenu des enjeux sanitaires et environnementaux, la diffusion de solutions alternatives aux pesticides est primordiale. Comme le soulignent Brévault *et al.* (2019), le changement de pratiques, notamment l'utilisation des bio-agresseurs, est une alternative possible pour mettre en place des modèles d'intensification écologique pour ce type de production et limiter les risques pour la santé.

Références

- Adechian AS, Baco MN, Akponikpe I, Toko II, Egah J, Affoukou K. 2015. Les pratiques paysannes de gestion des pesticides sur le maïs et le coton dans le bassin cotonnier du Bénin. *Vertigo – La revue électronique en sciences de l'environnement* 15(2). Disponible sur <https://doi.org/10.4000/vertigo.16534>.
- Brévault T, Badiane D, Goebel R, Renou A, Téréta I, Clouvel P. 2019. Repenser la gestion des ravageurs du cotonnier en Afrique de l'Ouest. *Cah Agric* 28: 25. Disponible sur <https://doi.org/10.1051/cagri/2019024>.
- Caubel J, Nembrot I, Josué A, Bromblet L, Ramarohetra J, Gabriac D, *et al.* 2019. ClimaVista – EToPhy web : un outil pour gérer l'impact des pratiques phytosanitaires agricoles sur la santé de l'applicateur et l'environnement. 49^e Congrès du Groupe Français de recherche sur les Pesticides (GFP), Montpellier, France.
- Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse dans le Sahel (CILSS). 1999. Réglementation commune aux États membres du CILSS sur l'homologation des pesticides, 27 p. Disponible sur https://insah.cilss.int/index.php/regle_phyto_et_pv/.
- Comité sahélien des pesticides. 2018. Liste globale des pesticides autorisés par le CSP 2018, 48 p.
- Comité sahélien des pesticides. 2019. Liste globale des pesticides autorisés par le CSP, mai 2019, 43 p. Disponible sur <https://insah.cilss.int/>.

- Djagni KK, Fok M. 2019. Dangers potentiels de l'utilisation des insecticides dans la culture cotonnière au Togo de 1990 à 2010. *Cah Agric* 28: 23. Disponible sur <https://doi.org/10.1051/cagri/2019023>.
- Gouda A-I, Toko II, Samali S-D, Richert M, Scippo M-L, Kestemont P, *et al.* 2018. Pratiques phytosanitaires et niveau d'exposition aux pesticides des producteurs de coton du Nord du Bénin. *Cah Agric* 27: 65002. Disponible sur <https://doi.org/10.1051/cagri/2018038>.
- Kanda M, Djaneye-Boundjou G, Wala K, Gnandi K, Batawila K, Sanni A, *et al.* 2013. Application des pesticides en agriculture maraîchère au Togo. *Vertigo – La revue électronique en sciences de l'environnement* 13(1). Disponible sur <https://doi.org/10.4000/vertigo.13456>.
- Kergna AO, Smale M, Assima A. 2018. Causes and consequences of increasing herbicides use in the cotton production zone of Mali. *FARA Research Result* 3(2): 30. Available from <https://research4agrinnova.tion.org/wp-content/uploads/2018/09/FRR-Vol-3-No-2.pdf>.
- Lin D, Hanscom L, Martindill J, Borucke M, Cohen L, Galli A, *et al.* 2016. Working Guidebook to the National Footprint Accounts: 2016 Edition. Oakland: Global Footprint Network.
- Mamane A. 2015. Effets sanitaires aigus de l'exposition aux pesticides en milieu rural. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux, France, 235 p.
- OMS. 2019. Disponible sur <https://www.who.int/countries/mli/fr/>.
- Samuel O, Dion S, St-Laurent L, April M-H. 2012. Indicateur de risque des pesticides du Québec – IRPeQ – Santé et environnement. Québec : ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation/ministère du Développement durable, de l'Environnement du Québec, 48 p. Disponible sur <https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/602-IndicateurDeRisqueDesPesticides.pdf>.
- Soumaré M, Bélières J-F, Passouant M, Sidibe M. 2015. L'intégration aux marchés internationaux pour les exploitations familiales cotonnières au Mali. In: Bosc P-M, Sourisseau J-M, Bonnal P, Gasselín P, Valette E, Bélières J-F, eds. *Diversité des agricultures familiales : exister, se transformer, devenir. Nature et société*. Versailles (France) : Éditions Quae, pp. 57–75. Disponible sur https://agritrop.cirad.fr/593138/1/Actes_Colloque_Coton_Bamako%20Mali%202019%20PASE%20II.pdf.

Citation de l'article : Le Bars M, Sidibe F, Mandart E, Fabre J, Le Grusse P, Diakite CH. 2020. Évaluation des risques liés à l'utilisation de pesticides en culture cotonnière au Mali. *Cah. Agric.* 29: 4.