



Evaluation du profil de toxicité des pesticides homologués au Burundi : étude préliminaire.

Ndikuryayo Ferdinand, Bigumandondera Patrice, Nineza Claire

Centre Universitaire de Recherche et de Pédagogie Appliquées aux Sciences, Laboratoire de Nutrition-Phytochimie, d'Ecologie et Environnement Appliqués, Institut de Pédagogie Appliquée, Université du Burundi, BP 5223, Bujumbura, Burundi.

Auteur de correspondance : Ndikuryayo Ferdinand, **E-mail** : ferdinand.ndikuryayo@ub.edu.bi

Reçu: le 01 Juin 2021

Accepté: le 05 Septembre 2021

Publié: le 21 Septembre 2021

RESUME :

Les pesticides sont généralement utilisés pour augmenter la production agro-pastorale. Cependant, ces produits chimiques peuvent présenter un risque pour la santé humaine et l'environnement lorsqu'ils sont mal gérés. L'évaluation de leur toxicité en vue d'adopter des mesures d'atténuation est l'une des stratégies recommandées. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer la toxicité des matières actives (MAS) contenues dans les pesticides homologués au Burundi. Pour ce faire, la toxicité de 70 MA a été documentée sur base des données publiées dans des revues scientifiques et des données de *Pesticide Action Network* (PAN) et *Joint Meeting on Pesticide Management* (JMPM). Les résultats montrent que 27,1%, 32,9% et 15,7% des MAS étudiées sont respectivement toxiques envers les mammifères, les organismes aquatiques et les deux à la fois. En plus, 62,9%, 37,1% et 31,4% des MAS étudiées sont respectivement bannies selon les critères de PAN, de JMPM et des deux organisations à la fois. Ces résultats montrent aussi que les MAS comme l'endosulfan, l'aldicab et le carbofuran ont été bannies par respectivement 79,01%, 77,16% et 51,23% des pays concernés par le classement alors qu'elles sont toujours en usage au Burundi. Cette étude décèle quelques lacunes liées à la gestion des pesticides au Burundi, attire l'attention sur le risque pour la santé humaine et l'environnement et propose quelques pistes de solution pour une bonne réglementation.

Mots clés : Pesticide, toxicité, pollution, homologation, Burundi.

ABSTRACT

Pesticides are commonly used to increase agro-pastoral production. However, these chemicals can pose a risk to human health and the environment when mismanaged. Assessing their toxicity in order to adopt attenuation measures is one of the recommended strategies. The objective of this study is therefore to evaluate the toxicity of active ingredients contained in pesticides registered in Burundi. For this purpose, the toxicity of 70 active ingredients was documented on the basis of data published in scientific journals and data from the Pesticide Action Network (PAN) and Joint Meeting on Pesticide Management (JMPM). The results show that 27.1%, 32.9% and 15.7% of the studied active ingredients are toxic to mammals, aquatic organisms and both, respectively. In addition, 62.9%, 37.1% and 31.4% of the studied active ingredients are banned according to the criteria of PAN, JMPM and both organizations, respectively. These results also show that active ingredients such as Endosulfan, Aldicab and Carbofuran have been banned by 79.01%, 77.16% and 51.23% of the countries surveyed, respectively, while they are still in use in Burundi. This study identifies some shortcomings related to the management of pesticides in Burundi, draws attention to the risk to human health and the environment, and proposes some solutions for good regulation.

Key words: Pesticide, toxicity, pollution, homologation, Burundi.

I. INTRODUCTION

Les terres cultivables sont limitées alors que la population mondiale continue à croître (Max Roser et Ortiz-Ospina, 2013). Il est donc nécessaire de prendre des mesures visant l'augmentation de la production végétale et animale afin d'assurer la sécurité alimentaire. La réduction par les pesticides des pertes de productions dues aux dommages causés par les mauvaises herbes, insectes, moisissures, champignons ou rongeurs est l'une des meilleures stratégies (Carvalho, 2006). Cependant, les pesticides constituent un des groupes de polluants les plus répandus au monde (Lewis et Maslin, 2015; Rosenblatt *et al.*, 1991). L'homme peut s'exposer aux pesticides par ingestion accidentelle, par consommation d'aliments contaminés, par respiration d'air contenant des pesticides ou par contact avec la peau (Ye *et al.*, 2013). Chez l'homme, les risques liés aux pesticides peuvent aller des effets à court terme (irritation de la peau et des yeux, maux de tête, vertiges et nausées) aux effets chroniques (cancer, asthme et diabète) (Kim *et al.*, 2017). Du point de vue environnemental, l'usage abusif de pesticides peut entraîner une destruction de la biodiversité en affectant la survie de nombreux animaux tant terrestres qu'aquatiques (Mahmood *et al.*, 2016). Les populations des pays en voie de développement sont malheureusement les plus exposées (Bertrand, 2019; Koh et Jeyaratnam, 1996; Zhang *et al.*, 2011). Au Burundi, le peu d'études réalisées ont montré que l'ignorance peut augmenter le facteur d'exposition aux pesticides (Manirakiza *et al.*, 2002; Okonya *et al.*, 2019).

Pour prévenir les problèmes liés à l'exposition aux pesticides, des conventions et codes de conduite internationaux ont été élaborés. La liste et hyperliens de ces textes sont repris dans le Code de conduite international sur la gestion des pesticides (FAO, 2018). Globalement, ces textes fournissent des conseils et outils de prévention et d'évaluation de risques liés à l'exposition aux pesticides. Ces risques peuvent se produire au cours de leur fabrication, transport, homologation,

entreposage, commercialisation et utilisation des pesticides. La boîte à outils de la FAO précise les exigences en matière de données et directives de test pour l'homologation d'un pesticide (FAO, 2018). Ces données, qui sont fournies par le fabricant (Storck *et al.*, 2017), comprennent notamment la toxicité, l'exposition, le devenir d'un pesticide dans l'environnement ainsi que l'écotoxicité. Cependant, certains effets comme la toxicité des produits de dégradation des pesticides (métabolites) et celle liée à la synergie des pesticides ne sont pas connus au moment de l'autorisation initiale. Des études ont montré que non seulement les métabolites peuvent s'avérer très toxiques (Bondy *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2017; Mohammed *et al.*, 2020) mais aussi que la synergie des pesticides peut augmenter leur toxicité (Abhishek *et al.*, 2014; Belden et Lydy, 2000). Des études supplémentaires et indépendantes sur la toxicité des métabolites et la synergie des pesticides sont donc très nécessaires avant d'obtenir une autorisation finale ou ré-homologation d'un pesticide (Storck *et al.*, 2017). Les résultats de ces études devraient être publiés dans des revues scientifiques ou collectés par des organisations qui s'occupent de la gestion et réglementation des pesticides. Il revient alors à chaque pays de faire ces recherches supplémentaires.

Le Burundi a adhéré formellement à certains textes tant internationaux (Convention de Rotterdam, Convention de Stockholm, Convention de Bale, Code International de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides) que régionaux (Convention de Bamako et Protocole portant sur les mesures sanitaires et phytosanitaires de la communauté Est-Africaine). Pour concrétiser cette adhésion, des textes et lois relatifs à la gestion des pesticides ont été mis en place. On citera par exemple la Loi n° 1/04 du 11 février 2021 portant sur la gestion des pesticides au Burundi qui précise dans son article 17 que l'homologation et la ré-homologation d'un pesticide doivent tenir compte du risque sur la santé humaine, animale et végétale ainsi que de l'impact sur l'environnement et de la stabilité des conditions physico-chimiques. Cette loi

stipule, en son article 27, qu'un pesticide peut être retiré du marché local lorsque son utilisation est devenue un risque inacceptable pour la santé publique ou l'environnement.

La préoccupation majeure rencontrée lors de la révision de la qualité d'un pesticide pour son homologation, son ré-homologation ou son retrait du marché local, concerne notamment les critères sur lesquels se base cette évaluation. En effet, la plupart des pays, y compris le Burundi, ne disposent pas de laboratoires d'analyse appropriés et par conséquent se réfèrent prioritairement aux informations fournies par le fabricant. Ces informations, à part que leur crédibilité reste discutable, ne sont pas complètes car les effets dus aux métabolites ou à la synergie des pesticides ne sont pas connus. En plus, ces informations ne concernent que très peu d'espèces (Storck *et al.*, 2017). Le recours aux données publiées par la communauté scientifique est et reste une alternative recommandée par la Loi n° 1/04 du 11 février 2021 dans son article 16. Ces ressources comprennent les publications scientifiques et les informations fournies par des organisations dédiées à la gestion des pesticides en l'occurrence la *Pesticide Action Network* (PAN) et *Joint Meeting on Pesticide Management* (JMPM) (PAN, 2021). Ces dernières fournissent annuellement des listes des MAs bannies par certains pays. L'objectif de la présente étude est donc d'évaluer, sur base la littérature scientifique disponible, la toxicité des MAs contenues dans les pesticides homologués au Burundi. Cette étude permettra notamment de déceler quelques lacunes liées à leur usage et proposer des pistes de solution pour une gestion efficace des pesticides au Burundi.

II. MÉTHODOLOGIE

Comme l'évaluation de la toxicité d'un pesticide est basée sur sa matière active (Storck *et al.*, 2017; PAN, 2021), nous avons documenté 70 MAs contenues dans les pesticides homologués au Burundi, à usage agricole, version 2018. Cependant, nous avons utilisé le registre de 2010 parce que non

seulement toutes les MAs y figurent mais aussi il fournit des données pertinentes notamment le numéro d'homologation, la spécialité commerciale, la matière active et le numéro CAS (*Chemical Abstracts Service*) (Ministère de l'agriculture et de l'élevage, 2016). Un profil de toxicité de ces MAs a été élaboré sur base de publications scientifiques indexées dans Google Scholar, moteur de recherche très utilisé par la communauté scientifique (Martin-Martin *et al.*, 2021). En vue de proposer une bonne requête, les mots clés ont été entrés en anglais (Di Bitetti et Ferreras, 2017). Ces articles ou résumés (abstracts) ont été générés à l'aide de la combinaison des mots clés « *toxicity of* + nom de la matière active » sur la période de consultation allant du 12 avril au 29 mai 2021. Au total, 570 articles ou résumés (abstracts) jugés pertinents ont été retenus pour cette recherche.

Les effets toxiques de certaines MAs prises au hasard ont été documentés pour évaluer leurs effets sur plusieurs organismes ainsi que la manifestation de leur toxicité, le moteur de recherche étant paramétré pour afficher 10 titres d'article par page. En vue d'évaluer le risque émanant des 70 MAs sur la santé humaine et l'environnement, leur toxicité a été documentée sur les mammifères et les organismes aquatiques. Les premiers ont été retenus parce qu'ils constituent la classe à laquelle appartient l'homme. Les seconds sont considérés comme des organismes vulnérables parce que l'eau constitue l'un des compartiments les plus exposés aux polluants (Bigumandondera, 2021), y compris les pesticides. Etant donné le nombre élevé de MA à caractériser, seules les matières actives, dont la toxicité a été rapportée dans au moins cinq articles ou résumés, ont été considérées pour augmenter la crédibilité des résultats publiés. Dans le but d'inventorier les MAs encore en usage au Burundi malgré qu'elles aient été bannies par certains pays, nous avons confronté les 70 MAs retenues plus haut aux listes des MAs interdites par au moins 30 pays

sur base des critères fournies par PAN et JMPM (PAN, 2021).

III. RÉSULTATS

III.1. Toxicité des MAs contenues dans les pesticides homologués au Burundi

Le Tableau 1 résume la toxicité de certaines MAs contenues dans les pesticides homologués au Burundi. L'analyse des résultats permet de constater que les MAs documentées présentent une toxicité envers

plusieurs organismes (pluri-toxicité) à savoir les souris, les rats, l'homme, les abeilles, les oiseaux, les vers de terre et les poissons. De plus, une même matière active peut affecter plusieurs espèces d'une même classe. Par exemple, le perméthrine manifeste une toxicité envers 10 espèces de poissons. Au total, les seules MAs documentées, à savoir l'acéphate, le triazophos, l'acétamipride, le thirame et le perméthrine, peuvent affecter 31 espèces différentes. Ce tableau montre aussi les voies de toxicité de ces MAs sur les organismes.

Tableau 1. Toxicité de certaines MAs contenues dans les pesticides homologués au Burundi

Matière active	Utilisation	Animal	Espèce	Effet de la toxicité	Référence
Acéphate	Tabac, Tomate, haricot, pomme de terre, maïs, riz	Souris	Souris CD-1*	Neurotoxicité	Farag <i>et al.</i> , 2000
			<i>Mus musculus</i>	Inhibition de la cholinestérase	Rattner et Hoffman, 1984
			<i>Microtus pennsylvanicus</i>	Inhibition de la cholinestérase	Farag <i>et al.</i> , 2000
		Oiseau	<i>Junco hyemalis</i>	Inhibition de la cholinestérase	Zinkl <i>et al.</i> , 1981
		Abeilles	<i>Bombus terrestris</i>	Intoxication sublétales aiguë	Drescher et Geusen-Pfister, 1990
			<i>Episyrphus balteatus</i>	Empoisonnement sublétales chronique	Drescher et Geusen-Pfister, 1990
		Paramécie	<i>Paramecium caudatum</i>	Lyse des cellules	Rao <i>et al.</i> , 2006
		Poisson	<i>Danio rerio</i>	Toxicité pour le développement Neurotoxicité	Liu <i>et al.</i> , 2018
Triazophos	Cotonnier	Poissons	<i>Labeo rohita</i>	Modifications hématologiques	Ghaffar <i>et al.</i> , 2015
			<i>Channa punctatus</i>	Réduction des niveaux de protéines totales	Singh <i>et al.</i> , 2018 Naveed <i>et al.</i> , 2010
			<i>Cirrhinus mrigala</i>	Mortalité	Mahboob <i>et al.</i> , 2015
			<i>Carassius auratus</i>	Neurotoxicité	Liu <i>et al.</i> , 2015
			<i>Gobiocypris rarus</i>	Malformations morphologiques	Zhu <i>et al.</i> , 2014
			<i>Danio rerio</i>	Inhibition des	Wu <i>et al.</i> , 2018

Matière active	Utilisation	Animal	Espèce	Effet de la toxicité	Référence
				enzymes antioxydantes	Wang <i>et al.</i> , 2020
		Rats	-	Stress oxydatif	Jain <i>et al.</i> , 2011, Jain <i>et al.</i> , 2013
		Oiseau	<i>Coturnix japonica</i>	Inhibition de la cholinesterase	Ghaffar <i>et al.</i> , 2014
		Ver de terre	<i>Eudrilus eugeniae</i>	Inhibition de la cholinesterase	Singh <i>et al.</i> , 2019
Acétamipri de	Caféier	Rats	Wistar rats**	Peroxydation des lipides, hématotoxicité	Devan <i>et al.</i> , 2015 Chakroun <i>et al.</i> , 2016
			-	Toxicité pour la reproduction	Arıcan <i>et al.</i> , 2020
		Cochon d'Inde	<i>Cavia porcellus</i>	Toxicité pour la reproduction	Kenfack <i>et al.</i> , 2018
		Abeilles	<i>Apis mellifera</i>	Mortalité	Yang <i>et al.</i> , 2020, Chen <i>et al.</i> , 2019
			<i>Apis cerana cerana</i>	Mortalité	Han <i>et al.</i> , 2019
		Poissons	<i>Danio rerio</i>	Mortalité et tératogénicité	Ma <i>et al.</i> , 2019
		Homme	Cellule IMR-90	Cytotoxicité et génotoxicité	Çavaş <i>et al.</i> , 2014
			<i>Homo sapiens</i>	Intoxication aiguë	Imamura <i>et al.</i> , 2010
		Gastropode	<i>Biomphalaria straminea</i>	Stress oxydatif	Cossi <i>et al.</i> , 2020
Thirame	Haricot, riz	Rats	-	Toxicité testiculaire	Mishra <i>et al.</i> , 1993
			Wistar rats**	Insuffisance hépatique et lésions rénales	Maita <i>et al.</i> , 1991
			-	Alopécie et ataxie, paralysie des membres	Lee <i>et al.</i> , 1978
			<i>Cricetulus griseus</i>	Apoptose	Grosicka <i>et al.</i> , 2005
		Chien	-	Vomissements, salivation, convulsions, nécropsie	Maita <i>et al.</i> , 1991
		Homme	<i>Homo sapiens</i>	Mortalité des fibroblastes	Mishra <i>et al.</i> , 1993
			<i>Homo sapiens</i>	Mortalité des	Cereser <i>et al.</i> , 2001

Matière active	Utilisation	Animal	Espèce	Effet de la toxicité	Référence	
				fibroblastes		
			<i>rats sprague-dawley</i>	Lésion du foie	Dalvi <i>et al.</i> , 1984	
		Oiseau	-	Dyschondroplasie tibiale	Zhang <i>et al.</i> , 2018	
		Poisson	<i>Danio rerio</i>	Perturbation de la thyroïde	Chen <i>et al.</i> , 2019	
Perméthrine	Stockage des denrées	Poisson	<i>Poecilia reticulata</i>	Neurotoxicité	Baser <i>et al.</i> , 2003	
			<i>Procambarus clarkii</i> <i>Ictalurus punctatus</i> <i>Micropterus salmoides</i> <i>Gambusia affinis</i> <i>Rana catesbeiana</i>	-	Jolly <i>et al.</i> , 1978	
			<i>Salmo salar</i>	-	Zitko <i>et al.</i> , 1979	
			<i>Salmo gairdneri</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i>	Toxicité létale	Kumaraguru et Beamish, 1981	
			<i>Danio rerio</i>	Inhibition de l'expression des gènes	Yang <i>et al.</i> , 2014	
			Abeille	<i>Megachile rotundata</i>	Mortalité	Piccolomini <i>et al.</i> , 2018

* La souris CD-1 est un modèle animal utilisé dans la toxicologie. **Le beagle est la race de chien la plus utilisée dans l'expérimentation animale.

Afin d'avoir une vue globale de la toxicité des MAs qui ont fait d'investigation, leurs effets néfastes envers les mammifères et les organismes aquatiques ont été documentés. Les proportions des MAs toxiques et non toxiques sont reprises à la Figure 1. La Figure

1C montre qu'au moins 15,7% des matières étudiées sont toxiques aussi bien aux mammifères qu'aux organismes aquatiques et que les organismes aquatiques sont les plus affectés avec un pourcentage de 32,9 % (Figure 1B).

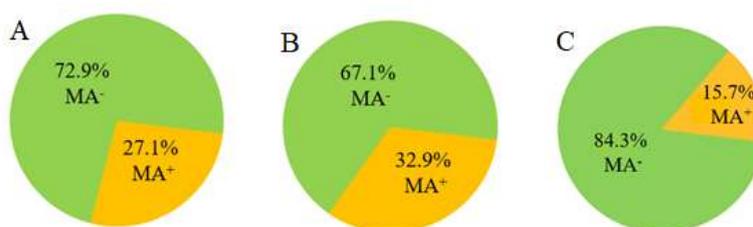


Figure 1. Proportions des matières actives (MAs) toxiques envers les mammifères (A), les organismes aquatiques (B) et les deux types d'organisme à la fois (C). MA⁺ et MA⁻ représentent respectivement les MAs toxiques et non toxiques.

3.1. Interdiction des MA contenues dans les pesticides homologués au Burundi

Il est d'usage qu'un pesticide puisse être interdit par un certain nombre de pays alors que sa commercialisation est toujours autorisée (Storck *et al.*, 2017). En vue de déterminer le nombre de pays qui ont interdit l'utilisation des 70 MA qui font objet de cette étude, une liste fournie par PAN et JMPM a été consultée. Ainsi, la Figure 2 montre les proportions des MA bannies dans certains pays selon les critères de PAN, de JMPM et les deux à la fois alors qu'ils sont toujours utilisés au Burundi. Les résultats de Figure 2C montre qu'au moins 31,4% des matières contenues dans les pesticides homologués au Burundi sont interdites dans au moins 30 pays. Ces résultats montrent aussi que 62,9% des MA sont bannies selon les critères de PAN (Figure 2A).

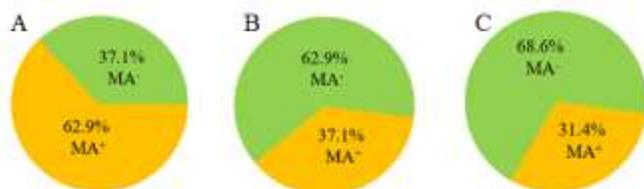


Figure 2. Proportions de matières actives (MA) bannies par PAN (A), JMPM (B) et les deux organisations à la fois (C). MA⁺ et MA⁻ représentent respectivement les MA bannies et autorisées.

IV. DISCUSSION

IV.1. Toxicité des MA contenues dans les pesticides homologués au Burundi

La détermination de la toxicité des MA envers l'homme et l'environnement est une étape cruciale dans l'enregistrement, l'homologation, la ré-homologation ou l'interdiction d'un pesticide. Dans cette étude préliminaire, la toxicité de certaines MA envers les organismes a été documentée sur base de la littérature existante. Les résultats consignés dans le Tableau 1 montrent que certaines MA sont toxiques envers des organismes (pluri-toxicité) à savoir les mammifères (les souris, les rats et l'homme), les oiseaux, les poissons, les abeilles et les vers de terre. Il convient de noter que

parmi les MA inventoriées, certaines sont toxiques envers des espèces non cibles. C'est le cas par exemple de l'acétamipride, MA présente dans KRISS 100 SL (pesticide utilisé pour la protection des caféiers), qui présente une toxicité envers les poissons, l'homme, les abeilles et les rats. Le triazophos, quant à lui, MA contenue dans HOSTATHION (pesticide utilisé pour la protection du cotonnier), constitue un autre exemple de pesticide qui présente une toxicité envers six espèces de poissons (*Labeo rohita*, *Channa punctatus*, *Cirrhinus mrigala*, *Carassius auratus*, *Gobiocypris rarus* et *Danio rerio*). Le perméthrine, MA présente dans Stocal Super Dust (pesticide utilisé pour le stockage des denrées alimentaires), constitue aussi un risque pour les abeilles et les poissons envers lesquels il est plus toxique que le Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) (Carter et Graves, 1972) déjà banni au Burundi à cause de sa longue persistance, sa bioaccumulation dans les tissus animaux et dans le lait ainsi que sa cancérogénicité (Ministère de l'agriculture et de l'élevage, 2016). La toxicité du perméthrine peut être accentuée par la présence du cyperméthrine (Ye Yang *et al.*, 2014), une MA présente dans ALPHACAL (pesticide utilisé au Burundi pour la protection du cotonnier). Globalement, ces quelques exemples montrent que les MA contenues dans les pesticides homologués au Burundi pourraient constituer un risque pour la santé publique et l'environnement.

Les résultats de la Figure 1A montrent que 27,1% des MA étudiées sont toxiques envers les mammifères, y compris l'homme. La Figure 1B quant à elle montre que 32,9% des MA sont toxiques envers les organismes aquatiques. Ces derniers sont plus exposés à la toxicité des pesticides parce que l'eau est un compartiment le plus exposé aux polluants (Bigumandondera, 2021). Les MA qui affectent à la fois les mammifères et les organismes aquatiques représentant 15,7% et constituent de ce fait un risque pour la santé humaine et l'environnement (FAO, 2018). En guise d'exemple, l'endosulfan, une MA intervenant dans THIODAN 35 et 50 WP (pesticide utilisé pour le traitement des

semences de haricot), est rapporté comme poison de l'homme (Kucuker *et al.*, 2009; Menezes *et al.*, 2017) et le dichlorvos, une MA contenue dans NUVAN (pesticide utilisé pour la protection du tabac) est considéré récemment comme un danger public (Okoroiwu et Iwara, 2018). Le diazinon, une MA contenue dans BASUDINE 10 G (pesticides utilisé pour la protection de haricot) a été prouvé comme source de diabète chez les rats (Ueyama *et al.* 2007). Il est à constater que le cyfluthrine, une MA présente CYFLUTHRALM 50 EC (pesticide utilisé pour la protection du caféier), s'est révélé très toxique aux souris même à une concentration 4 fois inférieure au DL₅₀ fournie dans le registre (Rajawat *et al.*, 2014). Rappelons que ces résultats sont aussi valables chez l'homme car les souris sont d'excellents modèles biologiques pour les humains. Chez l'homme, le risque de toxicité peut être augmenté par une ingestion accidentelle, par une consommation d'aliments contaminés, par respiration d'air contenant des pesticides ou par contact avec la peau (Ye *et al.*, 2013). Du point de vue environnemental, l'usage abusif de pesticides peut entraîner une destruction de la biodiversité en affectant la survie de nombreux animaux tant terrestres qu'aquatiques (Mahmood *et al.*, 2016).

IV.2. Interdiction des MAs contenues dans les pesticides homologués au Burundi

Dans cette étude, 70 MAs ont été confrontées à la liste de 460 MAs bannies par certains pays parce que considérées comme hautement dangereux (PAN, 2021). Cette liste est annuellement fournie par PAN et JMPM. Les critères de cette dernière organisation sont repris sur la liste des critères de PAN à savoir la perturbation endocrinienne, la toxicité aux abeilles et aux organismes aquatiques, la persistance dans l'eau, le sol ou les sédiments et la bioaccumulation. A cette liste s'ajoute la toxicité par inhalation, un critère qui n'est pas couverte par la classification de l'OMS (PAN, 2021; WHO, 2020).

Selon les critères retenus par PAN, on constate que 62,9% des MAs sont déjà bannies par au moins 30 pays (Figure 2A) alors que 37,1% des mêmes MAs sont interdites selon les critères de JMPM (Figure 2B). En effet, la proportion des MAs bannies sur base des critères PAN est élevée car elle inclut des données non reconnues ni par la Convention de Rotterdam ni par la classification de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) notamment la toxicité par inhalation (PAN, 2021; WHO, 2020). Il convient de signaler que la Convention de Rotterdam ne cherche pas à bannir les pesticides mais à collecter des informations sur les mesures réglementaires prises par les pays signataires. La Figure 2C montre que 31,4% des MAs contenues sont conjointement bannies par PAN et JMPM. Comparativement aux MAs interdites par PAN, la proportion des MAs bannies par JMPM (Figure 2B) est moins importante parce que JMPM ne couvre pas certains risques sanitaires et environnementaux (PAN, 2021).

Parmi ces MAs, l'endosulfan, l'aldicab (MA présente dans TEMIK 10 et 15G utilisé pour la protection du tabac et palmier à huile en pépinière) et le carbofuran (MA contenue dans CURATER 5 G utilisé pour la protection du tabac) sont bannies par respectivement 79,01%, 77,16% et 51,23% des pays concernés par le classement (PAN, 2021) alors qu'ils en usage au Burundi. Certaines MAs comme le pyrimiphos-methyl et perméthrine (utilisés pour la conservation du haricot et du maïs) ont été aussi bannies alors qu'ils sont considérés par l'OMS comme légèrement dangereux comme le montre l'annexe II du Plan de gestion des pestes (Ministère de l'agriculture et de l'élevage, 2016). Ces observations devraient attirer l'attention de tous les intervenants dans la gestion et la réglementation des pesticides au Burundi. Il est à noter que tous les pesticides bannis au Burundi (Ministère de l'agriculture et de l'élevage, 2016) sont aussi bannis par PAN et JMPM.

V. CONCLUSION

Dans cette étude, il a été montré qu'un nombre important de MAs contenues dans les pesticides homologués au Burundi sont bannies par certains pays car elles sont toxiques envers les organismes non cibles. Ainsi, continuer à utiliser les pesticides contenant ces MAs constitue un risque pour la santé publique et l'environnement au Burundi. Ces observations devraient amener les gestionnaires de pesticides à actualiser les données sur la toxicité de toutes les MAs contenues dans les pesticides homologués au Burundi en vue de permettre l'importation des pesticides moins dangereux. Les efforts devraient en outre se concentrer sur l'installation des laboratoires *ad-hoc* pour une évaluation plus sûre. Comme le remplacement d'un pesticide est très coûteux, des mesures préventives peuvent être envisagées notamment l'intensification des efforts de supervision de la distribution, de conservation et d'utilisation des pesticides.

VI. REFERENCES

- Abhishek A., Ansari N. G., Shankhwar S. N., Jain A., et Singh V., 2014. *In vitro* toxicity evaluation of low doses of pesticides in individual and mixed condition on human keratinocyte cell line. *Bioinformation*, 10(12): 716-720.
- Arıcan E. Y., Kayalı D. G., Karaca B. U., Boran, T., Öztürk N., Okyar A., Ercan F., et Özhan G., 2020. Reproductive effects of subchronic exposure to acetamiprid in male rats. *Scientific Reports*, 10(1): 1-10.
- Başer S., Erkoç F., Selvi M., et Koçak O., 2003. Investigation of acute toxicity of permethrin on guppies *Poecilia reticulata*. *Chemosphere*, 51(6): 469-474.
- Belden J. B., et Lydy M. J., 2000. Impact of atrazine on organophosphate insecticide toxicity. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 19(9): 2266-2274.
- Bertrand P. G., 2019. Uses and Misuses of Agricultural Pesticides in Africa: Neglected Public Health Threats for Workers and Population. In M. L. Larramendy (Ed.), *Pesticides use and misuse and their impact in the environment*. London, UK: IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.78909.
- Bigumandondera P, Ndikuryayo F., Nineza C. (2021). Pollution en ville de Bujumbura : ampleur, impacts préjudiciables et pistes de remédiation. *Bulletin Scientifique sur l'Environnement et la Biodiversité*. 4, 35-47.
- Bondy G., Armstrong C., Coady L., Doucet J., Robertson P., Feeley M., et Barker M., 2003. Toxicity of the chlordane metabolite oxychlordane in female rats: clinical and histopathological changes. *Food and Chemical Toxicology*, 41(2): 291-301.
- Carter F. L., et Graves J.B., 1972. Measuring effects of insecticides on aquatic animals. *La Agric*. 16 :10-15.
- Carvalho F. P., 2006. Agriculture, pesticides, food security and food safety. *Environmental Science et Policy*, 9(7-8) : 685-692.
- Çavaş T., Çinkiliç N., Vatan Ö., et Yılmaz D., 2014. Effects of fullerene nanoparticles on acetamiprid induced cytotoxicity and genotoxicity in cultured human lung fibroblasts. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 114, 1-7.
- Cereser C., Boget S., Parvaz P., et Revol A., 2001. An evaluation of thiram toxicity on cultured human skin fibroblasts. *Toxicology*, 162(2): 89-101.
- Chakroun S., Ezzi L., Grissa, I., Kerkeni E., Neffati F., Bhourri R., Najjar M. F., Hassine M., Mehdi M., Haouas Z., et others., 2016. Hematological, biochemical, and toxicopathic effects of subchronic acetamiprid toxicity in Wistar rats. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(24): 25191-25199.
- Chen L., Yan Q., Zhang J., Yuan S., et Liu X., 2019. Joint Toxicity of Acetamiprid and Co-Applied Pesticide Adjuvants on Honeybees

under Semifield and Laboratory Conditions. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(9):1940-1946.

Chen X., Fang M., Chernick M., Wang F., Yang J., Yu Y., Zheng N., Teraoka H., Nanba S., Hiraga T., et others., 2019. The case for thyroid disruption in early life stage exposures to thiram in zebrafish (*Danio rerio*). *General and Comparative Endocrinology*, 271, 73-81.

Cossi P. F., Herbert L. T., Yusseppone M. S., Pérez A. F., et Kristoff G., 2020. Toxicity evaluation of the active ingredient acetamiprid and a commercial formulation (Assail®70) on the non-target gastropod *Biomphalaria straminea* (Mollusca: Planorbidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 192, 110248. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110248.

Dalvi P. S., Wilder-Ofie T., Mares, B., Lane C., Dalvi R. R., et Billups L. H., 2016. Plan de gestion des pestes (PGB). *Veterinary and Human Toxicology*, 44(6), 331-333.

Dalvi R. R., Robbin, T. J., Williams M. K., Deoras D. P., Donastorg, F., et Banks, C., 1984. Thiram-induced toxic liver injury in male sprague-dawley rats. *Journal of Environmental Science et Health Part B*, 19(8-9): 703-712.

Devan R. K. S., Mishra A., Prabu P. C., Mandal T. K., et Panchapakesan S., 2015. Sub-chronic oral toxicity of acetamiprid in Wistar rats. *Toxicological et Environmental Chemistry*, 97(9): 1236-1252.

Di Bitetti M. S., et Ferreras J. A., 2017. Publish (in English) or perish: The effect on citation rate of using languages other than English in scientific publications. *Ambio*, 46(1) : 121-127.

Drescher W., et Geusen-Pfister H., 1990. Comparative testing of the oral toxicity of acephate, dimethoate and methomyl to honeybees, bumblebees and Syrphidae. In *VI International Symposium on Pollination* 288, 133-138.

FAO/OMS (2018). Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des

pesticides : directives pour le contrôle de la qualité des pesticides.

Farag A. T., Eweidah M. H., et El-Okazy A. M., 2000. Reproductive toxicology of acephate in male mice. *Reproductive Toxicology*, 14(5): 457-462.

Farag A. T., Eweidah M. H., Tayel S. M., et El-Sebae A. H., 2000. Developmental toxicity of acephate by gavage in mice. *Reproductive Toxicology*, 14(3): 241-245.

Ghaffar A., Ashraf S., Hussain R., Hussain T., Shafique M., Noreen S., et Aslam S., 2014. Clinicohematological disparities induced by triazophos (organophosphate) in Japanese quail. *Pak. Vet. J*, 34(2): 257-259.

Ghaffar A., Hussain R., Khan A., et Rao Z. A., 2015. Hemato-biochemical and genetic damage caused by triazophos in fresh water fish, *Labeo rohita*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 17(3): 637-642.

Grosicka E., Sadurska B., Szumiło M., Grzela T., Łazarczyk P., Niderla-Bielińska J., et Rahden-Staroń I., 2005. Effect of glutathione depletion on apoptosis induced by thiram in Chinese hamster fibroblasts. *International Immunopharmacology*, 5(13-14) : 1945-1956.

Han W., Yang Y., Gao J., Zhao D., Ren C., Wang S., Zhao S., et Zhong Y., 2019. Chronic toxicity and biochemical response of *Apis cerana cerana* (Hymenoptera: Apidae) exposed to acetamiprid and propiconazole alone or combined. *Ecotoxicology*, 28(4): 399-411.

Imamura T., Yanagawa Y., Nishikawa K., Matsumoto N., et Sakamoto T., 2010. Two cases of acute poisoning with acetamiprid in humans. *Clinical Toxicology*, 48(8): 851-853.

Jain S., Ahmed R. S., Arora V. K., et Banerjee B. D., 2011. Biochemical and histopathological studies to assess chronic toxicity of triazophos in blood, liver and brain tissue of rats. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 100(2): 182-186.

Jain S., Banerjee B. D., Ahmed R. S., Arora V. K., et Mediratta P. K., 2013. Possible role of

- oxidative stress and brain derived neurotrophic factor in triazophos induced cognitive impairment in rats. *Neurochemical Research*, 38(10): 2136-2147.
- Jolly A. L., Avault J. W., Koonce K. L., et Graves J. B., 1978. Acute toxicity of permethrin to several aquatic animals. *Transactions of the American Fisheries Society*, 107(6): 825-827.
- Kenfack A., Guiekep N. A. J., Ngoula F., Vemo B. N., Bouli E. P., et Pamo E. T., 2018. Reproductive toxicity of acetamiprid in male Guinea pig (*Cavia porcellus*). *J Anim Sci Vet Med*, 3(4): 105-111.
- Kim K.-H., Kabir E., et Jahan S. A., 2017. Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575, 525-535.
- Koh D., et Jeyaratnam J. (1996). Pesticides hazards in developing countries. *Science of the Total Environment*, 188(1), S78-85.
- Kucuker, H., Sahin, O., Yavuz Y., et Yürümez Y., 2009. Fatal acute endosulfan toxicity: A case report. *Basic et Clinical Pharmacology et Toxicology*, 104(1) : 49-51.
- Kumaraguru A. K., et Beamish F. W. H., 1981. Lethal toxicity of permethrin (NRDC-143) to rainbow trout, *Salmo gairdneri*, in relation to body weight and water temperature. *Water Research*, 15(4): 503-505.
- Lee C.-C., Russell J. Q., et Minor J. L., 1978. Oral toxicity of ferric dimethyl-dithiocarbamate (ferbam) and tetramethylthiuram disulfide (thiram) in rodents. *J Toxicol Environ Health*, 4(1):93-106.
- Lee K. M., Park S.-Y., Lee K., Oh S.-S., et Ko S. B., 2017. Pesticide metabolite and oxidative stress in male farmers exposed to pesticide. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 29(1), 1-7.
- Lewis S. L., et Maslin M. A., 2015. Defining the anthropocene. *Nature*, 519(7542): 171-180.
- Liu L., Zhu B., Gong Y.-X., Liu G.-L., et Wang G.-X., 2015. Neurotoxic effect of triazophos on goldfish (*Carassius auratus*) and tissue specific antioxidant responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 116: 68-75.
- Liu X., Zhang Q., Li S., Mi P., Chen D., Zhao X., et Feng X., 2018. Developmental toxicity and neurotoxicity of synthetic organic insecticides in zebrafish (*Danio rerio*): A comparative study of deltamethrin, acephate, and thiamethoxam. *Chemosphere*, 199:16-25.
- Ma X., Li H., Xiong J., Mehler W. T., et You J., 2019. Developmental toxicity of a neonicotinoid insecticide, acetamiprid to zebrafish embryos. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(9): 2429-2436.
- Mahboob S., Al-Ghanim K. A., Sultana S., Al-Balawi H. F. A., Sultana T., Al-Misned F., Ahmed Z., et others, 2015. A study on acute toxicity of triazophos, profenofos, carbofuran and carbaryl pesticides on *Cirrhinus mrigala*. *Pakistan Journal of Zoology*, 47(2): 461-466.
- Mahmood I., Imadi S.R., Shazadi K., Gul A., Hakeem K.R., 2016. Effects of Pesticides on Environment. In: Hakeem K., Akhtar M., Abdullah S. (eds) *Plant, Soil and Microbes*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27455-3_13
- Maita K., Tsuda S., et Shirasu Y., 1991. Chronic toxicity studies with thiram in Wistar rats and beagle dogs. *Toxicological Sciences*, 16(4): 667-686.
- Manirakiza P., Covaci A., Nizigiyimana L., Ntakimazi G., et Schepens P., 2002. Persistent chlorinated pesticides and polychlorinated biphenyls in selected fish species from Lake Tanganyika, Burundi, Africa. *Environmental Pollution*, 117(3) : 447-455.
- Martin-Martin A., Thelwall M., Orduna-Malea E., et López-Cózar E. D., 2021. Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations. *Scientometrics*, 126(1): 871-906.

- Max Roser H. R., et Ortiz-Ospina E., 2013. World Population Growth. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/world-population-growth> consulté le 24 mai 2021.
- Menezes R. G., Qadir T. F., Moin A., Fatima H., Hussain S. A., Madadin M., Pasha S. B., Al Rubaish F. A., et Senthilkumaran S., 2017. Endosulfan poisoning: An overview. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 51: 27–33.
- Ministère de l'agriculture et de l'élevage, 2016, Plan de gestion des pestes. Programme de croissance agricole intégrée dans les grands lacs projet régional (Burundi).
- Mishra V. K., Srivastava M. K., et Raizada R. B. 1993. Testicular toxicity of thiram in rat: morphological and biochemical evaluations. *Industrial Health*, 31(2): 59-67.
- Mohammed A. M., Huovinen M., et Vähäkangas K. H., 2020. Toxicity of diuron metabolites in human cells. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 78, 103409. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103409>
- Naveed A., Venkateswarlu P., et Janaiah C., 2010. Impact of sublethal concentration of triazophos on regulation of protein metabolism in the fish *Channa punctatus* (Bloch). *African Journal of Biotechnology*, 9(45): 7753-7758.
- Pesticide Action Network (2021). PAN International Consolidated List of Banned Pesticides. <https://pan-international.org/pan-international-consolidated-list-of-banned-pesticides/> consulté le 28 juillet 2021.
- Okonya J. S., Petsakos A., Suarez, V., Nduwayezu A., Kantungeko D., Blomme G., Legg J. P., et Kroschel J., 2019. Pesticide use practices in root, tuber, and banana crops by smallholder farmers in Rwanda and Burundi. *Int J Environ Res Public Health*, 16(3): 400. doi: 10.3390/ijerph16030400.
- Okoroiwu, H. U., et Iwara, I. A. (2018). Dichlorvos toxicity: A public health perspective. *Interdisciplinary Toxicology*, 11(2), 129.
- Piccolomini A. M., Whiten S. R., Flenniken M. L., O'Neill K. M., et Peterson R. K. D., 2018. Acute toxicity of permethrin, deltamethrin, and etofenprox to the alfalfa leafcutting bee. *Journal of Economic Entomology*, 111(3): 1001-1005.
- Rajawat N. K., Soni I., Mathur P., et Gupta D., 2014. Cyfluthrin-induced toxicity on testes of Swiss albino mice. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 3(3): 334-343.
- Rao, J. V., Srikanth, K., Arepalli, S. K., et Gunda, V. G. (2006). Toxic effects of acephate on *Paramecium caudatum* with special emphasis on morphology, behaviour, and generation time. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 86(3), 131–137.
- Rattner B. A., et Hoffman D. J., 1984. Comparative toxicity of acephate in laboratory mice, white-footed mice, and meadow voles. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 13(4): 483-491.
- Rosenblatt D. H., Burrows E. P., Mitchell W. R., et Parmer D. L., 1991. The handbook of environmental chemistry anthropogenic compounds. Springer, Berlin.
- Singh S., Tiwari R. K., et Pandey R. S., 2019. Acute toxicity evaluation of triazophos, deltamethrin and their combination on earthworm, *Eudrilus eugeniae* and its impact on AChE activity. *Chemistry and Ecology*, 35(6): 563-575.
- Storck V., Karpouzas D. G., et Martin-Laurent F., 2017. Towards a better pesticide policy for the European Union. *Science of the Total Environment*, 575: 1027-1033.
- Ueyama J., Wang D., Kondo T., Saito I., Takagi K., Takagi K., et others., 2007. Toxicity of diazinon and its metabolites increases in diabetic rats. *Toxicology letters*, 170(3): 229-237.
- Wang G., Xiong D., Wu M., Wang L., et Yang J., 2020. Induction of time-and dose-dependent oxidative stress of triazophos to brain and liver in zebrafish (*Danio rerio*). *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*, 228, 108640.

- Wang Y., Zhu Y. C., et Li W., 2020. Interaction patterns and combined toxic effects of acetamiprid in combination with seven pesticides on honey bee (*Apis Mellifera* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190: 110100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110100>
- WHO (2020). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, edition 2019. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240005662>
- World Health Organization (2020). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2019.
- Wu S., Li X., Liu X., Yang G., An X., Wang Q., et Wang Y., 2018. Joint toxic effects of triazophos and imidacloprid on zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Pollution*, 235: 470-481.
- Yang, Ma, S., Liu F., Wang Q., Wang X., Hou C., Wu Y., Gao J., Zhang L., Liu Y., et others., 2020. Acute and chronic toxicity of acetamiprid, carbaryl, cypermethrin and deltamethrin to *Apis mellifera* larvae reared in vitro. *Pest Management Science*, 76(3): 978-985.
- Yang Ye, Ma H., Zhou J., Liu J., et Liu W., 2014. Joint toxicity of permethrin and cypermethrin at sublethal concentrations to the embryo-larval zebrafish. *Chemosphere*, 96: 146-154.
- Ye M., Beach J., Martin J. W., et Senthilselvan A., 2013. Occupational pesticide exposures and respiratory health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(12): 6442-6471.
- Zhang H., Mehmood K., Jiang X., Yao W., Iqbal M., Waqas M., Rehman M. U., Li A., Shen Y., et Li J., 2018. Effect of tetramethyl thiuram disulfide (thiram) in relation to tibial dyschondroplasia in chickens. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(28), 28264-28274.
- Zhang W., Jiang F., et Ou J., 2011. Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 1(2): 125-144.
- Zhu B., Gong Y. X., Liu L., Li D. L., Wang Y., Ling F., et Wang G. X., 2014. Toxic effects of triazophos on rare minnow (*Gobiocypris rarus*) embryos and larvae. *Chemosphere*, 108: 46-54.
- Zinkl J. G., Roberts R. B., Shea P. J., et Lasmanis J., 1981. Toxicity of acephate and methamidophos to dark-eyed juncos. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 10(2): 185-192.
- Zitko V., McLeese D. W., Metcalfe C. D., et Carson W. G., 1979. Toxicity of permethrin, decamethrin, and related pyrethroids to salmon and lobster. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 21(1): 338-343.