

---

**Utilisation des biopesticides pour une agriculture durable en République Démocratique du Congo (Synthèse bibliographique)**

**Virginie Korangi<sup>1\*</sup>, Gisèle Kubindana<sup>2</sup>, Junior Corneille Fingu-Mabola<sup>3</sup>, Alex Sulu<sup>1</sup>, Guelor Kasereka<sup>1</sup>, Arnold Matamba<sup>1</sup>, Jaelle Ndirir<sup>4</sup>**

<sup>(1)</sup>Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques. Département de Chimie et Industries Agricoles. BP 127 Kinshasa XI (RDC). E-mail : virginie.korangi@unikin.ac.cd

<sup>(2)</sup>Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques. Département de Zootechnie. BP 127 Kinshasa XI (RDC)

<sup>(3)</sup>Université Pédagogique Nationale. Unité de Recherche 71, Développement des substances naturelles. Centre de Recherche Interdisciplinaire de l'Université pédagogique Nationale (CRIDUPN). BP 8815 Kinshasa (RDC)

<sup>(4)</sup>Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques. Département de Phytotechnie. BP 127 Kinshasa XI (RDC)

Reçu le 02 juin 2021, accepté le 05 juillet 2021, publié en ligne le 24 juillet 2021

---

## RESUME

**Description du sujet.** Les pesticides chimiques ont longtemps été considérés comme moyens les plus efficaces pour lutter contre les bioagresseurs des cultures. Bien que leur efficacité soit évidente, leur impact négatif sur l'environnement est de plus en plus discuté. A l'opposé, les biopesticides offrent l'avantage d'être d'origine naturelle, biodégradables, plus ou moins sélectifs et inoffensifs contre les organismes non-cibles.

**Littérature.** Plusieurs catégorisations sont faites sur les biopesticides selon qu'ils soient d'origine végétale, animale et microbienne. En République Démocratique du Congo (RDC), leur utilisation est encore timide. Pourtant, les biopesticides peuvent être une issue pour promouvoir une agriculture durable et accessible aux paysans à faible revenu.

**Conclusion.** Bien que quelques essais réalisés avec des extraits des plantes et des bactéries ne sont pas encore exploités à grande échelle, les biopesticides constituent certes une alternative aux pesticides chimiques en RDC.

**Mots-clés :** Lutte biologique, pesticides chimiques de synthèse, biopesticides, réglementation

## ABSTRACT

### Use of Biopesticides for sustainable agriculture in the Democratic Republic of Congo (A Review)

**Description of the subject.** Chemical pesticides have long been considered the most effective means of controlling crop pests. Although their effectiveness is obvious, their negative impact on the environment is increasingly discussed. In contrast, biopesticides offer the advantage of being naturally occurring, biodegradable, more or less selective and harmless against non-target organisms.

**Literature.** Biopesticides are categorised in several ways, depending on whether they are of plant, animal or microbial origin. In the Democratic Republic of Congo (DRC), their use is still timid. However, biopesticides can be a way to promote sustainable agriculture that is accessible to low-income farmers.

**Conclusion.** Although some performed experiments with plant extracts and bacteria are not yet being used on a large scale, biopesticides are certainly an alternative to chemical pesticides in the DRC.

**Keywords:** Biological control, synthetic chemical pesticides, biopesticides, regulation

---

## 1. INTRODUCTION

Les maladies et ravageurs des cultures constituent l'une des causes principales des pertes de rendement ou de la qualité des récoltes dans le monde (Lepoivre, 2003). En République Démocratique du Congo, les activités agricoles font également face à diverses maladies et ennemis de

cultures sur toute l'étendue du pays. Hormis les bioagresseurs des cultures, l'agriculture congolaise subit aussi la pression des nuisibles dits émergents. Ces nuisibles sont responsables de plusieurs pertes sur les principales cultures d'intérêt comme le manioc (*Manihot esculenta* Crantz), le bananier

(*Musa* spp L.), le maïs (*Zea mays* L.), l'arachide (*Arachis hypogaea* L.), le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) et le riz (*Oryza sativa* L.) et aussi sur certaines cultures maraichères comme la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (MINAGRI-RDC, 2018).

Pour lutter contre ces ennemis des plantes, l'utilisation des méthodes culturales adaptées, l'usage des variétés génétiquement améliorées, le recours à des pesticides chimiques ou biologiques, etc. sont les méthodes les plus appliquées (Lepoivre, 2003). Parmi ces différents produits de lutte, les pesticides chimiques de synthèse ont longtemps été considérés comme les moyens incontournables dans la gestion des bioagresseurs en agriculture. Bien que leur efficacité soit évidente, leur impact négatif sur l'environnement est de plus en plus discuté. En effet, leur utilisation excessive en agriculture est à l'origine de la pollution des sols et des eaux, du développement de résistances aux mauvaises herbes, aux insectes ou aux pathogènes, ainsi que de la destruction de nombreux organismes utiles dont les insectes (comme les pollinisateurs) (EFSA, 2014; Zaki *et al.*, 2020).

Plusieurs cas d'intoxications dues à l'usage des pesticides chimiques ont été également identifiés partout dans le monde chez l'Homme (Batsch, 2011; Ockleford *et al.*, 2018). En effet, selon le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), les pesticides chimiques de synthèse causent chaque année quelques vingt-cinq millions d'intoxications aiguës dont deux-cent vingt mille morts. Environ, 99 % des décès causés par empoisonnement aux pesticides ont lieu dans les pays en développement ou émergents. Selon le même rapport, il a été signalé que les enfants sont plus vulnérables aux impacts des pesticides.

En Afrique particulièrement, un total de deux mille six-cent septante deux cas d'intoxications aiguës par les pesticides chez les enfants ont été recensés entre 1990 et 2008 au Maroc (Achour *et al.*, 2011). Une étude réalisée au Burkina Faso en 2010 renseigne qu'environ 45 % des agriculteurs enquêtés ont subi une intoxication liée à l'application des pesticides majoritairement formulés à base des pesticides hautement toxiques comme le paraquat (Toé, 2010).

En RDC, des études sur l'intoxication aux pesticides n'ont pas été conduites mais une enquête, réalisée auprès des maraîchers de la cité de Nkolo dans la province du Kongo Central, a montré que la majorité n'avait pas suivi une formation spécifique sur les pesticides, n'utilisait pas d'équipements de protection individuelle et ne gerait pas correctement les déchets des pesticides, les abandonnant au champ ou les enfouissant dans le sol (Muliele *et al.*,

2018). Ce qui laisse penser que ces maraîchers seraient exposés à des éventuelles intoxications, à l'instar des cultivateurs de Coton au Bénin (Gouda *et al.*, 2018). En effet, beaucoup de maraîchers utilisent des produits très dangereux. Une étude récente réalisée dans les différents sites maraîchers de la ville province de Kinshasa a montré que le pesticide chimique « Thiodan » à base d'Endosulfan, une molécule active retirée du marché dans plusieurs pays comme ceux de l'Union Européenne et les Etats-Unis, est majoritairement utilisé (Ngweme *et al.*, 2019).

Aussi, de plus en plus, des études montrent un lien entre l'exposition aux pesticides chimiques de synthèse et des taux élevés de maladies chroniques notamment les cancers, les maladies cardiovasculaires, le diabète, les désordres neurodégénératifs comme le Parkinson, l'Alzheimer ainsi que la sclérose latérale amyotrophique, les malformations congénitales et les troubles reproductifs (Anakwue, 2019). Par exemple, une étude épidémiologique réalisée au Japon soutient l'idée selon laquelle l'exposition au glyphosate pourrait être liée à l'apparition de la maladie de Parkinson (Eriguchi *et al.*, 2019).

À l'opposé des pesticides conventionnels, les biopesticides présentent plusieurs avantages et s'avèrent être une alternative très prometteuse. Ils sont développés à partir d'organismes vivants naturels tels que les animaux, les plantes et les micro-organismes (bactéries, champignons et virus) et peuvent lutter contre les insectes nuisibles aux plantes grâce à leur mode d'action non toxique et écologique (Lepoivre, 2003; Leng *et al.*, 2011; Villaverde *et al.*, 2016; Zaki *et al.*, 2020). Ces produits biologiques présentent plusieurs avantages : Ils sont biodégradables et ne laissent pas de résidus nocifs, peuvent être moins chers que les pesticides chimiques de synthèse lorsqu'ils sont produits localement et peuvent s'avérer plus efficaces à long terme, tout évitant la pollution de l'environnement (sol, air et eau) et les problèmes de résistance grâce à leur mode d'action complexe. Les biopesticides n'affectent généralement que le bioagresseur ciblé et les organismes étroitement apparentés ; cela permet de protéger les autres organismes vivants dans le même environnement. Cependant, leur vitesse d'action souvent lente et leur efficacité souvent variable à cause de l'influence de divers facteurs biotiques et abiotiques en sont les quelques inconvénients (Fravel, 2005; Ritika et Utpal, 2014; Zaki *et al.*, 2020).

Par ailleurs, à côté des méthodes de lutte culturale, génétique et chimique, l'utilisation des biopesticides pour le contrôle des maladies et ravageurs des plantes reste d'application très faible à l'échelle mondiale. En 2000, le marché des biopesticides était à l'état embryonnaire. La

proportion des biopesticides vendus versus les pesticides chimiques n'atteignait que 0,25% (Van Lenteren, 2000). Après cinq ans, le marché des biopesticides représentait 2,5% du marché global des pesticides qui était équivalent d'environ 26,7 milliard USD (Thakore, 2006; Ait Kaki, 2014). L'évolution du marché mondial des pesticides chimiques par rapport aux biopesticides au cours de la dernière décennie (2004-2016) partant des données adaptées des dernières publications de BCC Research est présentée dans la synthèse de Zaki *et al.*(2020).

En RDC, le marché des biopesticides reste très peu développé. Comparativement au nombre total de pesticides homologués en RDC de 2014 en 2019, les biopesticides ne représentent que 0,01% de l'ensemble (Tebila, 2020). En effet, certains cultivateurs développent essentiellement des biopesticides d'origine végétale suite à la disponibilité des plantes pesticides dans différentes zones de production, aux moyens financiers limités de ceux-ci pour se procurer des pesticides chimiques de synthèse et aussi dans le souci de se protéger contre les effets néfastes des pesticides conventionnels. Cependant, face aux techniques de production rudimentaire appliquées par ces cultivateurs, le développement d'une filière stable sur le long terme est difficile à réaliser.

L'objectif de cette synthèse est de montrer à tous les acteurs du secteur agricole l'importance de l'utilisation des biopesticides en agriculture et la possibilité d'un développement réel de cette filière en République Démocratique du Congo. Ainsi, les différents protagonistes du secteur agricole comprendront les multiples opportunités qui leur sont offertes au regard des différentes potentialités actuelles que regorgent le pays pour la mise au point des biopesticides efficaces répondant aux besoins et aux conditions écologiques de notre pays.

Dans cette synthèse bibliographique, il a été utile de présenter les différentes catégories des biopesticides actuellement utilisés dans le monde, ainsi que leurs modes d'action et nous décrivons la situation en RDC, partant de la législation en matière d'utilisation des pesticides biologiques, à la réalité sur terrain. Les informations exploitées dans cette revue de littérature ont été obtenues des différentes ressources en ligne issues des bases de données scientifiques (Scopus, Google scholar, PubMed) et des sites officiels de différentes organisations (Organisation Internationale de Lutte Biologique « OILB », Agence de protection de l'environnement des États-Unis « USEPA », OMS, Public Eye), mais aussi des ressources physiques publiées ou non (livres, thèses de doctorat, mémoires de fin d'études, etc.).

## 2. BIOPESTICIDES : CATÉGORIES ET MODES D'ACTION

Selon leur origine, les pesticides biologiques peuvent être catégorisés en biopesticides d'origine végétale, animale et microbienne (Deravel *et al.*, 2014). Les biopesticides comprennent plusieurs mécanismes impliqués dans la lutte contre les ravageurs et agents pathogènes passant par des activités liées aux substances bioactives secrétées par un microorganisme, contenu dans les extraits des plantes ou provenant d'un insecte ou encore au travers des interactions directes entre deux organismes (insecte -insecte) (Ongena et Jacques, 2008; Leng *et al.*, 2011; Lengai et Muthomi, 2018).

Cependant, la mise au point d'un biopesticide opérationnel passe par de nombreuses étapes confrontées à des exigences biologiques, techniques, économiques et réglementaires imposées par l'industrie, l'utilisateur, le consommateur et les structures nationales ou régionales d'homologation des intrants phytosanitaires (Lepoivre, 2003). Un agent de lutte biologique doit répondre à certains critères de sélection notamment : la stabilité génétique, l'efficacité à faible concentration, la faible exigence nutritionnelle, la capacité de survie et d'adaptation aux différentes conditions environnementales, l'efficacité sur un grand nombre de pathogènes et d'hôtes, la production aisée et peu coûteuse, l'absence de production de métabolites secondaires toxiques, la compatibilité avec d'autres traitements et la non-pathogénicité pour l'homme, et l'écotoxicologie acceptable (Lepoivre, 2003). Etant donné qu'il existe plusieurs systèmes de classification des biopesticides, dans cette étude, nous faisons recours à l'origine naturelle à partir de laquelle ces substances proviennent.

### 2.1. Biopesticides d'origine végétale

Certaines plantes sont connues et utilisées pour leurs activités biocides (toxiques) ou répulsives, vis-à-vis des bioagresseurs. Ces plantes produisent des substances actives, qui sont le plus souvent des métabolites secondaires, ayant des propriétés insecticides, aseptiques ou encore régulatrices de la croissance des plantes et des insectes. Ces substances sont obtenues à partir des différentes parties de la plante telles que les fleurs, les feuilles, les écorces, la sève, le bois, les racines, les gousses, les bulbes, les rhizomes, les fruits et les graines à l'état sec ou frais (Deravel *et al.*, 2014; Lengai et Muthomi, 2018; Werrie *et al.*, 2020). Sont pris en considération comme biopesticides d'origine végétale, les extraits des plantes (frais et sec), les huiles essentielles, les huiles végétales et aussi les plantes à pesticides intégrés (Deravel *et al.*, 2014; Lengai et Muthomi, 2018).

Les biopesticides d'origine végétale peuvent être utilisés contre les agents phytopathogènes (champignons et bactéries) et contre les ravageurs de culture en champ et en stocks pour leur effet répulsif de contact ou fumigant (Guèye *et al.*, 2011; De Clerck *et al.*, 2020). Plusieurs plantes pesticides ont été étudiées jusqu'à ce jour : le neem ou le margousier (*Azadirachta indica* A.Juss.), originaire de l'Inde, est l'une des plantes les plus étudiées pour ses propriétés anti-appétantes, répulsives, toxiques et inhibitrices de la croissance des insectes dues à sa richesse en molécules bioactives telles que l'azadirachtine, la nimbidine et la nimbidinine. L'activité de ses produits (extraits frais et sec, huiles essentielles) a été évaluée sur plus de 450 espèces d'insectes ravageurs dans différents pays du monde (Guèye *et al.*, 2011; Senthil-Nathan, 2015). Appartenant à la famille des Polygonacées et originaire de l'Extrême-Orient, la renouée de Sakhaline (*Reynoutria sachalinensis* (F.Schmidt) Nakai), plus particulièrement son extrait appliqué sur la plante active son système de défense, la plante produit ainsi des composés phénoliques à forte activité antifongique (Konstantinidou-Doltsinis *et al.*, 2006). *Striga hermonthica* (Del.) Benthune, plante herbacée parasite de la famille des Scrophulariacées et originaire du Soudan et de l'Éthiopie, est réputée pour ses propriétés insecticides ou insectifuges, notamment contre les moustiques dues à la présence des composés phénoliques dans les différentes parties de la plante (Kiendrebeogo *et al.*, 2006; Koua, 2011). Le pyrèthre (*Tanacetum cinerariifolium* (Trevir.) Sch.Bip.), une plante herbacée vivace de la famille des Asteracées, est cultivée pour ses fleurs contenant les pyrèthrine attaquant le système nerveux des insectes. En 2019, le Kenya et la Tanzanie étaient les deux premiers producteurs africains des fleurs séchées du pyrèthre (Grdiša *et al.*, 2009). Le piment (*Capsicum frutescens* L.), une plante comestible de la famille des Solanacées, est utilisé dans la protection des plantes contre certains pathogènes (bactéries) et ravageurs grâce à ses divers composés phénoliques comme la capsaïcine (Koffi-Nevry *et al.*, 2012). Des activités antimicrobiennes et acaricides ont été rapportées pour les extraits ou les huiles essentielles de la santoline (*Santolina africana* Jord. et Four.) qui est une plante très répandue en Afrique du Nord (Malti *et al.*, 2019). Une liste exhaustive des quelques plantes à effets bénéfiques en phytoprotection sont disponibles dans les travaux de Anjarwalla *et al.*(2016); Yarou *et al.* (2017) & De Clerck *et al.*(2020).

Certaines plantes oléagineuses comme le sésame (*Sesamum indicum* L.), le coton (*Gossypium* sp. L.), le colza (*Brassica napus* L.), l'olivier (*Olea europea* L.) et le tournesol (*Helianthus annuus* L.) sont utilisés pour produire des huiles considérées

comme biopesticides. Cependant, ces huiles sont dépourvues des molécules bioactives, mais possèdent des propriétés physiques intéressantes contre certains bioagresseurs. En effet, une fois pulvérisée sur les ravageurs ou sur les parties des plantes à protéger, elles forment un film huileux qui asphyxie et suffoque rapidement les cibles. Elles peuvent aussi réagir avec les acides gras du corps de l'insecte, interférer avec son métabolisme et agir comme poison. L'huile peut également étouffer les œufs de certains insectes (Rzozzi, 2002; Deravel *et al.*, 2014).

Les plantes à pesticides intégrés (PPI) sont des organismes modifiés par génie génétique, capables de produire et d'utiliser des substances pesticides afin de se protéger contre des insectes, des virus ou des champignons phytopathogènes. Deux types de cultures sont développées par les programmes de protection des végétaux : les cultures transgéniques résistantes aux insectes et les plantes résistantes aux herbicides (Leng *et al.*, 2011). La première génération PPI-insecticides étaient des protéines Cry (*Bt* toxins) exprimées dans des cultures génétiquement modifiées contenant des transgènes de la bactérie *Bacillus thuringiensis* Berliner. Tout récemment, les PPI à base d'acide ribonucléique double brin (ARNdb) ont été récemment approuvés. En juin 2017, l'USEPA a approuvé la première culture exprimant un ARNdb contre la chrysomèle des racines du maïs (*Diabrotica* spp. Chevrolat) (Parker et Sander, 2017). Bien que son efficacité comme moyen de protection des cultures est prouvée par plusieurs études (Tabashnik *et al.*, 2011; Du *et al.*, 2014; Botha *et al.*, 2019; Moscardini *et al.*, 2020), l'utilisation des organismes génétiquement modifiés reste bannie dans plusieurs pays pour des raisons éthiques mais aussi environnementales. La pollution génétique est l'un des risques potentiels que craignent les scientifiques au sujet des PPI (Bhatt *et al.*, 2018).

## 2.2. Biopesticides d'origine animale

Les biopesticides d'origine animale sont des ennemis naturels comme les prédateurs ou les parasites, ou des molécules dérivées d'animaux, souvent d'invertébrés comme les venins d'araignées, d'abeilles, de scorpions ; des hormones d'insectes, des phéromones ; etc. (Leng *et al.*, 2011; Deravel *et al.*, 2014). Dans la plupart des cas, les acariens, les coccinelles, les nématodes entomopathogènes, les parasitoïdes, les héétéoptères, les coléoptères, les carabidés présents dans différents agroécosystèmes sont les plus utilisés dans la lutte biologique contre les ravageurs (Sahayaraj, 2014; Lengai et Muthomi, 2018). Les sémiocimiques sont des messages chimiques produits par un organisme induisant une réponse comportementale chez des organismes de même espèce ou d'espèce différente. Les substances les

plus couramment utilisées sont des phéromones sexuelles d'insectes qui sont employées dans des pièges de surveillance, des systèmes de leurre et de piège mortel ou pour la perturbation de l'accouplement d'un ravageur ciblé (Deravel *et al.*, 2014; Lengai et Muthomi, 2018).

Les nématodes entomopathogènes sont aussi comptés comme biopesticides d'origine animale dans le contrôle des ravageurs des cultures. Dans ce groupe, ceux qui sont les plus utilisés et les plus étudiés dans la lutte des ravageurs appartiennent aux genres *Steinernematidae* Filipjev et *Heterorhabditidae* Poinar qui regroupent des espèces libérant des bactéries symbiotiques appartenant respectivement aux genres *Xenorhabdus* Thomas & Poinar et *Photorhabdus* Emend. Ces dernières s'emploient essentiellement pour lutter contre les insectes nuisibles aux végétaux présents dans les jardins, les pépinières, les plantations d'agrumes et les cultures de canneberges ou de champignons (Griffin *et al.*, 2005; Tabib et Kallel, 2016).

Les biopesticides d'origine animale ont un mode d'action varié passant par la prédation au parasitage ou par injection des substances toxiques causant la mort de l'insecte ravageur ou par des signaux chimiques créant la confusion chez ceux-ci ou stimulant un changement de comportement. Par exemple, la diffusion continue de phéromone de la tordeuse de la vigne désoriente les mâles et les femelles afin de brouiller le signal émis par la femelle et empêcher l'accouplement (Leng *et al.*, 2011; Deravel *et al.*, 2014; Senthil-Nathan, 2015; Lengai & Muthomi, 2018; Hoffmann et Thiery, 2020).

Les biopesticides d'origine animale présentent l'avantage de combattre les ravageurs sans porter préjudice à la plante hôte ou causer des dommages moins importants (Leng *et al.*, 2011; Lengai et Muthomi, 2018). Aussi, ont-ils un éventail varié de proies et peuvent aussi atteindre plusieurs cibles à la fois (Sahayaraj, 2014). L'hémiptère anthocoridé de petite taille, *Xylocoris flavipes* Reuter, attaque les œufs et les petites larves des coléoptères/scarabées et des papillons de nuit (Imamura *et al.*, 2008).

Certains biopesticides tels que les venins de certaines araignées paralysent le système nerveux de leurs proies et causent ensuite la mort de celles-ci (Oguh *et al.*, 2019). Les substances toxiques présentes dans ces venins peuvent attaquer différentes cibles de ravageurs et contribuent ainsi à limiter l'apparition des insectes résistants (Deravel *et al.*, 2014). Certains biopesticides d'origine animale comme les prédateurs et les nématodes entomopathogènes se nourrissent de ravageurs des cultures de différents stades de vie tels les larves,

les nymphes et les adultes (Sahayaraj, 2014; Lengai et Muthomi, 2018) mais manifestent une préférence pour un stade donné de vie (Lengai et Muthomi, 2018).

Les résultats de Tabib et Kallel (2016) montrent que les espèces *Heterorhabditis indica* Poinar, Karunakar & David et *H. argentinensis* Stock affectent les différents stades de développement du criquet *Locustra migratoria* L. en commençant par l'infection létale des femelles lors de l'oviposition, puis la mortalité embryonnaire dans les oothèques et larvaire. Cette préférence ne se limite pas seulement au stade de vie mais s'étend jusqu'à la taille de la proie. Sahayaraj (2014) est arrivé aux conclusions suivantes : le prédateur de grande taille préfère les proies de grande taille et ceux de petite taille préfèrent les proies de petite taille.

Loko *et al.* (2020) rapportent que l'hémiptère *Alloeocranum biannulipes* Montrouzier & Signoret se nourrit des larves et pupes du coléoptère *Prostephanus truncatus* Horn mais consomme plus de pupes que de larves de cet insecte foreur. Et les mêmes auteurs attribuaient cette préférence à la large taille des pupes du coléoptère. Certains prédateurs, tels que les insectes hémiptères de la famille des Réduviidés sont résistants aux principaux pesticides et biopesticides (Sahayaraj, 2014). Les prédateurs sont également utilisés dans la lutte des ravageurs post-récolte (Imamura *et al.*, 2008; Sahayaraj, 2014). Une étude menée au Japon et en Thaïlande rapporte que les prédateurs des ravageurs des produits stockés appartiennent aux familles des Anthocoridés, Reduviidés, Joppeicidés, Lygaeidés et Miridés (Imamura *et al.*, 2008).

L'utilisation des biopesticides d'origine animale connaît un vrai essor et bon nombre de fermiers les ont adoptés en Asie, en Europe et en Amérique et des formes commercialisables sont identifiées sur le marché de contrôle des ravageurs (Leng *et al.*, 2011; Glare *et al.*, 2012; Deravel *et al.*, 2014; Kumar et Singh, 2015; Nemaakanga *et al.*, 2018).

Les effets des biopesticides d'origine animale et plus particulièrement des insectes auxiliaires sur la faune locale sont minutieusement étudiés avant leur utilisation (Deravel *et al.*, 2014). Plusieurs études sont réalisées sur les biopesticides d'origine animale dans la lutte contre les ravageurs utilisant leurs proies naturelles ou des régimes artificiels et des études d'élevage en masse sont en cours d'investigation (Dufour *et al.*, 1997; Ehlers et Shapiro-Ilan, 2005; Imamura *et al.*, 2008; Sahayaraj, 2014; Tabib et Kallel, 2016; Loko *et al.*, 2020). Mais l'essai en champs reste une importante étape pour évaluer l'efficacité et l'utilisation des ennemis naturels qui manifestent des performances moindres lorsqu'ils sont lâchés dans les champs (Sahayaraj, 2014).

Les biopesticides d'origine animale ont un effet insecticide et pourrait largement contribuer à la gestion de la lutte antiparasitaire. Mais le grand challenge c'est de trouver les proies qui conviennent à chaque prédateur pour développer des méthodes économiques et viables pour l'élevage de masse (Imamura *et al.*, 2008).

### 2.3. Biopesticides d'origine microbienne

De nos jours, il est connu que certaines bactéries, virus et champignons peuvent être utilisés comme agents de lutte biologique en phytoprotection. Selon Jacques *et al.* (2014), les produits phytosanitaires à base de microorganismes représentent environ 30 % des biopesticides et de nouveaux produits sont régulièrement mis sur le marché mondial. En 2016, les mycopesticides représentaient 10 % du marché mondial des biopesticides, contre 75 % pour les biopesticides bactériens (Zaki *et al.*, 2020).

L'usage des microorganismes dans la lutte biologique présente des nombreux avantages parmi lesquels une dissémination facile, une spécificité de leur action sur certains organismes cibles, une efficacité à des faibles doses d'administration initiale ainsi qu'une persistance et une ubiquité dans le pathosystème (Sellami *et al.*, 2015).

L'efficacité de ces microorganismes repose en grande partie sur des substances actives qu'ils synthétisent et ce sont, en principe, ces substances actives qui agissent contre le ravageur plutôt que les microorganismes eux-mêmes (Jacques *et al.*, 2014). Les lipopeptides cycliques, les enzymes lytiques, les sidérophores, les composés organiques volatils et tant d'autres sont parmi les biomolécules qui sont les plus impliquées dans la lutte contre les pathogènes et les ravageurs des cultures. Hormis leur potentiel en protection des cultures, certains microorganismes sont connus comme pouvant avoir des effets de promotion directe de la croissance par la production des phytohormones (phytostimulation), par la solubilisation du phosphate et par la fixation biologique de l'azote atmosphérique (biofertilisation), par la production des certains contrôleurs de stress comme l'aminocyclopropane-carboxylate deaminase (contrôle de stress) et par la production des agents dépolluants (bioremédiation) (Ongena et Jacques, 2008; Cawoy *et al.*, 2011; Ngaliimat *et al.*, 2021).

#### Biopesticides d'origine bactérienne

Plus d'une centaine d'espèces bactériennes appartenant aux genres *Pseudomonas* Migula, *Actinobacteria* Stackebrandt, Rainey & Ward-Rainey, *Azospirillum* Tarrand *et al.*, *Azotobacter* Beijerinck, *Klebsiella* Trevisan, *Enterobacter* Hormaeche & Edwards, *Alcaligenes* Castellani & Chalmers, *Arthrobacter* Harold Joel Conn & Isabel Dimmick, *Burkholderia* emend. Gillis *et al.*,

*Bacillus* Cohn et *Serratia* Bizio ont été identifiées comme ayant un potentiel d'utilisation en lutte biologique (Patel *et al.*, 2015; David *et al.*, 2018).

Plusieurs modes d'action sont proposés pour justifier l'efficacité de ces bactéries dans la lutte biologique. En effet, ces bactéries peuvent agir contre les agents phytopathogènes soit par concurrence spatiale et/ou nutritive, soit en induisant une résistance systémique chez la plante ou soit par antibiose directe au travers des différents métabolites que ces bactéries synthétisent (Jacques *et al.*, 2014).

Des effets positifs de ces bactéries ont été démontrés dans plusieurs pathosystèmes et ont été des réels succès (Gupta *et al.*, 2006; Arguelles-Arias *et al.*, 2009; Nihorimbere *et al.*, 2010; Tonelli *et al.*, 2010; Ait *et al.*, 2013; Kulimushi *et al.*, 2018; Le *et al.*, 2018; Safni et Antastia, 2018; Chen *et al.*, 2019; Kumari *et al.*, 2021). Sur le marché, plus de 50% des biopesticides d'origine bactérienne font partie du genre *Bacillus* Cohn (Cawoy *et al.*, 2011). L'espèce de *Bacillus* Cohn la plus connue et utilisée comme biopesticide est le *Bacillus thuringiensis* Berliner (*Bt*) représentant à lui seul plus de 90 % du marché des bio-insecticides en 2006 (Cawoy *et al.*, 2011; Glare *et al.*, 2012; Deravel *et al.*, 2014; Sellami *et al.*, 2015).

#### Biopesticides d'origine virale

C'est partant de leur capacité d'infecter tous les êtres vivants que les virus sont exploités comme agent de lutte biologique dans l'agriculture. En effet, certains virus ont été signalé avoir une capacité de réduire la pathogénicité de certains champignons phytopathogène. Ce phénomène connu sous le nom d'hypovirulence est défini comme l'expression d'une virulence réduite d'un micro-organisme à la suite de la présence d'un virus (Muslim *et al.*, 2003; Boland, 2004; Sharma *et al.*, 2018).

Il existe différents types d'agents de biocontrôle basés sur des virus : Des reoviridae comme le nom de virus de la polyédrose cytoplasmique (cypovirus), un agent pathogène contre les insectes prédateurs comme *Helicoverpa armigera* Hübner et certains baculoviridae comme par exemple *Spodoptera exigua multiple* nucleopolyhedrovirus qui infecte les larves de *Spodoptera exigua* Hübner et *Cydia pomonella* granulovirus infectant les larves ou insectes adultes d'arthropodes (Thakore, 2006 ; Berling *et al.*, 2009; Zaki *et al.*, 2020). Mais aussi, certains virus dits bactériophages sont connus pour leur capacité à perturber les activités bactériennes. Des bactériophages spécifiques aux *Xanthomonas* spp. Dowson, *Erwinia* spp. Emend. Hauben *et al.*, *Ralstonia solanacearum* Yabuuchi *et al.* et autres ont été isolés et leur efficacité a été démontrée (Jones *et al.*, 2012; Ramírez *et al.*, 2020).

### **Biopesticides d'origine fongique (ou mycopesticides)**

Outre les virus et les bactéries, plusieurs souches de champignons filamenteux sont utilisées dans la lutte biologique. Ces champignons figurent parmi les groupes des microorganismes les plus exploités pour lutter contre les perturbateurs des cycles biologiques des plantes tels que les nématodes, les bactéries, les champignons phytopathogènes et surtout contre les insectes ravageurs (Baron *et al.*, 2019). Les champignons entomopathogènes ont un avantage considérable par rapport à d'autres agents microbiens. En effet, contrairement aux virus et bactéries qui agissent par ingestion, les mycoinsecticides ont un mode d'action particulier du fait qu'ils infectent leurs hôtes par voie transcutanée. Par ailleurs, leur production en masse peut être effectuée sur des supports moins coûteux et accessibles. De plus, leur conditionnement peut se faire sous diverses formes et peuvent parfois être combiné avec des matériaux synthétiques en vue d'améliorer leur pouvoir infectieux et leur persistance au sein de la population des ravageurs ciblés et ainsi réduire la fréquence de traitement des champs (Shah et Pell, 2003; Bawin *et al.*, 2015). Environ 750 espèces fongiques ont été identifiées comme ayant le potentiel de prévenir ou contrôler les agressions des insectes (Mantzoukas et Eliopoulos, 2020).

L'intérêt du recours aux champignons microscopiques dans la production végétale est dû à leur potentiel de promouvoir la croissance des plantes par divers mécanismes dont l'endophytisme. En effet, les mycopesticides colonisent parfois les tissus de leur plante hôte et agissent comme agents antagonistes des phytopathogènes grâce à la synthèse des divers métabolites à activité antimicrobienne, à la compétition nutritive et spatiale, à la prévention de la colonisation des tissus des plantes par des phytopathogènes et à l'induction de résistance chez l'hôte (Narayanasamy, 2013). Plusieurs exemples existent dans la littérature où la colonisation des tissus de plantes avait un effet sur le comportement et le fitness des ravageurs, mais aussi sur la sévérité et le temps d'incubation de virus dans la plante (Jaber et Salem, 2014; Fingu-Mabola *et al.*, 2021). D'autres mycopesticides contribuent à la solubilisation du phosphore dans le sol et à la synthèse des phytohormones (Baron *et al.*, 2019; Guzmán-Guzmán *et al.*, 2019; Barra-Bucarei *et al.*, 2020).

Parmi les souches de champignons utilisés comme biopesticides, le genre *Trichoderma* Pers. est largement le plus utilisé comme mycofongicide. Il comprend un groupe de champignons filamenteux saprophytes imparfaits qui ont des activités

antifongiques contre plusieurs pathogènes de la rhizosphère et de la phyllosphère. Par ailleurs, il existe des nombreux produits à base de champignons microscopiques tels que *Paecilomyces lilacinus* (Thoms) Samson, *Candida oleophila* Montrocher, *Beauvaria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill., *Fusarium oxysporum* Schldt., *Trichoderma harzianum* Pers., *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin, *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viégas qui sont commercialisés comme biopesticides microbiens (Butt *et al.*, 2009; Dabire *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2017; Zaki *et al.*, 2020).

La liste de quelques biopesticides déjà commercialisés à l'échelle mondiale regroupés dans les différentes catégories précitées est reprise dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Liste de quelques biopesticides commercialisés à l'échelle mondiale

Catégories	Matière active	Activité biologique	Nom commercial	Fabricant	Pays	Références
Biopesticides d'origine végétale	Azadirachtine	Insecticide	NEEMIX 4,5	CERTIS USA, LLC	Etats-Unis	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
	Essence de Girofle et huile de coton	Acaricide	GC-MITE	JH BIOTECH INC	Etats-Unis	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
	Essence d'orange (d-limonène)	Insecticide-fongicide-acaricide	LIMOCIDE	VIVAGRO	France	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
	Extrait d'Ail	Nématicide	NEMGUARD GRANULES	CBC	Europe	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
	Extrait de l'arbre du thé	Fongicide	TIMOREX GOLD	AAKO B.V.	Pays-Bas	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
	Extrait de piment, ail et oignon	Répulsif	PiOL	BIOPROTECT	Burkina Faso	<a href="https://www.bioprotect-b.com">https://www.bioprotect-b.com</a>
	Extrait de <i>Reynoutria sachalinensis</i>	Fongicide	REYSANA	MARRONE BIO INNOVATIONS USA	Etats-Unis	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
	Extrait hydrophobe clarifié d'huile de neem	Miticide-fongicide	TRILOGY 70 EC	SINERIA (EA) LTD	Pays-Bas	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
	Farnésol, Géraniol, Géropon PG, Nérolidol	Acaricide	BIOMITE	ARYSTA LIFESCIENCE SAS	France	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
	Huile de neem	Insecticide	H-N	BIOPROTECT	Burkina Faso	<a href="https://www.bioprotect-b.com">https://www.bioprotect-b.com</a>
	Huile de sésame	Nématicide	SESAMIN EC	BRANDT CONSOLIDATED, INC.	Etats-Unis	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
	Pyrethrin-garlic extract	Insecticide-miticide	PYEGAR	JUANCO SPS LTD	Kenya	<a href="http://pcpb.go.ke/">http://pcpb.go.ke/;</a> <a href="https://infonet-biovision.org/PlantHealth/Biopesticides-Kenya">https://infonet-biovision.org/PlantHealth/Biopesticides-Kenya</a> <a href="https://aedes-protecta.fr">https://aedes-protecta.fr</a>
Biopesticides d'origine animale	Huile de poisson à odeurs répugnantes	Répulsif	PROTECT REP*CLAC GIBIER	AEDES PROTECTA	France	<a href="https://aedes-protecta.fr">https://aedes-protecta.fr</a>
	Acarions ( <i>Aphidoletes aphidimyza</i> , <i>Aphelinus abdominalis</i> , <i>Amblyseius cucumeris</i> , etc.)	Insecticide	BIOLINE	BIOLINE AGROSCIENCES Ltd	France	<a href="https://www.biolineagrosciences.com/fr/">https://www.biolineagrosciences.com/fr/</a>
	Coccinelle ( <i>Adalia bipunctata</i> )	Insecticide	COCCIFLY	BIOTOP	France	<a href="https://www.biotop.fr">https://www.biotop.fr</a>
	Nématodes entomopathogènes ( <i>Heterorhabditis indica</i> )	Insecticide	HETERORHABDITIS INDICA NEMATODES	BUGS OF GROWERS	Etats-Unis	<a href="https://bugsforgrowers.com/collections/beneficial-bugs">https://bugsforgrowers.com/collections/beneficial-bugs</a>
	Sémio-chimiques (Phéromones)	Insecticide	PROTECTA CAPSULES	AEDES PROTECTA	France	<a href="https://aedes-protecta.fr">https://aedes-protecta.fr</a>
Biopesticides d'origine microbienne	<i>Ampelomyces quisqualis</i> , isolate M-10	Fongicide	AQ 10Biofungicide	ECOGEN	Etats-Unis	(Fravel, 2005)
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> subsp. D747	Fongicide	AMYLO-X	CERTIS USA, LLC	Etats-Unis	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
	<i>Bacillus pumilus</i>	Fongicide	BALLAD	AGRAQUEST INC.	Etats-Unis	(Cawoy et al., 2011)
	<i>Bacillus subtilis</i>	Fongicide	AVOGREEN	OCEAN AGRICULTURE	Afrique du Sud	(Cawoy et al., 2011)
	<i>Bacillus subtilis</i> (souche IAB/BS03)	Nématicide	SEYLAND	SEIPASA	Espagne	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>

<i>Bacillus thuringiensis</i> var. Kurstaki ABTS-351	Insecticide	DIPEL PM	VALENT BIOSCIENCES CORPORATION	Etats-Unis	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
<i>Bacillus velezensis</i>	Fongicide	BOTRYBEL	AGRICALDES	Espagne	(Cawoy et al., 2011)
<i>Bacillus velezensis</i> FZB42 (anciennement appelé <i>B. subtilis</i> FZB42)	Fongicide	TAEGRO	EARTH BIOSCIENCES	Etats-Unis	(Ngalimat et al., 2021)
<i>Beauveria bassiana</i>	Insecticide	NATURALIS-L	CBC	France	<a href="https://www.desangosse.fr/">https://www.desangosse.fr/</a>
<i>Burkholderia cepacia</i>	Fongicide	BOTRYCID	SAFER AGROBIOLOGICOS COLOMBIA	Colombie	(Cawoy et al., 2011)
Nucleopolyhedrovirus d' <i>Helicoverpa armigera</i>	Insecticide	HELICOVEX	ANDERMATT	France	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>
<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	Fongicide	CERALL	LANTMÄNNEN BIOAGRI AB	Suède, Australie, Finlande	<a href="http://www.bioagri.se/">http://www.bioagri.se/</a>
<i>Rhizobium radiobacter</i>	Bactéricide	DYGALL	AGBIORESEARCH LTD.	Canada	(Cawoy et al., 2011)
<i>Trichoderma harzianum</i> T-22	Fongicide	ROOT SHIELD ; PLANT SHIELD	BIOWORKS	Etats-Unis	(Fravel, 2005)
Virus de la granulose	Insecticide	MADEX	ANDERMATT BIOCONTROL AG	Suisse	<a href="http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx">http://eservice.onssa.gov.ma/IndPesticide.aspx</a>

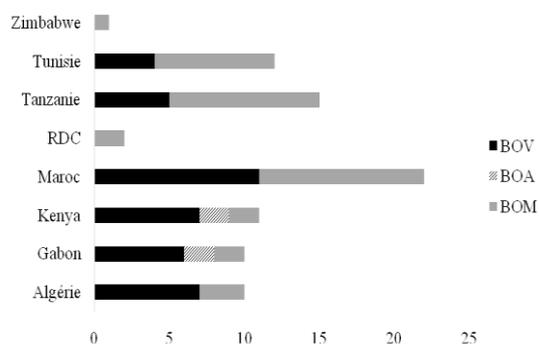
### 3. BIOPESTICIDES EN RDC

#### 3.1. Législation congolaise sur l'utilisation des biopesticides

Publiés respectivement en 2005 et en 2011, le Décret N°05/162 portant réglementation phytosanitaire en RDC et la Loi N°11/022 portant principes fondamentaux relatifs à l'agriculture constituent la base des textes réglementaires en République Démocratique du Congo. En effet, le Décret N°05/162 du 18 Novembre 2011 traite de manière claire toutes les questions sur l'utilisation des produits phytosanitaires en RDC. Ce Décret, contenant cinq chapitres, régit la prévention sanitaire des végétaux et produits végétaux par la prévention et la lutte contre les organismes nuisibles tant au niveau de leur introduction qu'à celui de leur propagation sur le territoire national; la diffusion et la vulgarisation des techniques appropriées de protection phytosanitaire; l'organisation de l'agrément (provisoire de vente ou homologation) des produits phytosanitaires et leur contrôle à l'importation, à la mise sur le marché et à leur utilisation; le contrôle à l'importation et à l'exportation des végétaux et des produits végétaux et le contrôle de l'état sanitaire des denrées alimentaires d'origine végétale ou minérale susceptibles de porter des germes pathogènes.

Il convient de noter que l'utilisation des organismes vivants et leurs dérivés au bénéfice de l'agriculture ne trouve pas d'embûche dans ce texte. En effet, dans l'article 22 (Chapitre II, Section V) du Décret N°05/162, le législateur renseigne que :« le Ministère ayant dans ses attributions l'agriculture autorise l'introduction et l'utilisation d'animaux, végétaux, microorganismes pour des besoins de lutte biologique ». Cet unique article offre une perspective qui garantit l'utilisation des biopesticides dans le secteur agricole congolais. Cependant, malgré que cette disposition soit édictée depuis plus d'une décennie, ce secteur reste encore très timide et vierge en RDC comparativement à certains pays d'Afrique comme l'Afrique du Sud, l'Algérie, le Kenya, la Tanzanie, le Maroc, la Tunisie et le Zimbabwe.

De manière globale, seuls le *Bacillus thuringiensis* Berliner et l'Emamectine benzoate (issue d'un procédé de fermentation de bactéries du sol, *Streptomyces avermitilis* Kim and Goodfellow) ont été énumérés dans la liste des matières actives d'origine biologique homologuées en RDC entre 2015-2021 (Tebila, 2020). La figure 1 présente le nombre des biopesticides homologués dans quelques pays d'Afrique.



**Figure 1.** Nombre de biopesticides homologués dans quelques pays d'Afrique (2015-2021).

Ces données ont été obtenues sur base des listes disponibles par chaque pays. Pour le cas de la RDC, les informations proviennent d'une communication personnelle (Tebila., 2020). BOV : Biopesticides d'origine végétale, BOA : Biopesticides d'origine animale, BOM : Biopesticides d'origine microbienne

### 3.2. Situation actuelle des biopesticides et leur utilisation en République Démocratique du Congo

Plusieurs travaux de recherche sont réalisés jusqu'à ce jour en RDC sur les pesticides biologiques au sein des universités, des centres de recherche et laboratoires : Université de Kinshasa, Université Pédagogique Nationale, Université de Kisangani, Université de Goma, Université Evangélique d'Afrique Centrale, Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi, Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques, la Clinique des Plantes de Kinshasa, etc. L'objectif de la plupart de ces travaux se focalisent sur la recherche des moyens biologiques de lutte contre les agents pathogènes et ravageurs des principales cultures de la RDC et aussi des cultures maraîchères (MINAGRI-RDC, 2018).

Des plantes comme *Azadirachta indica* A. Juss., *Allium capsicum* L., *Zingiber officinalis* Roscoe, *Allium sativum* L., *Tephrosia vogelii* Hook.f., *Tetradenia riparia* (Hochst.) Codd, *Carica papaya* L., *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray, *Eucalyptus citriodora* L'Hér., *Cupressus lusitanica* Mill. ont fait l'objet de plusieurs essais contre un large spectre des microorganismes phytopathogènes

et des insectes ravageurs de culture tels que la chenille légionnaire d'Automne (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) chez le maïs et la mouche de haricot commun (*Ophiomyia* sp. Fallen)(Kaloma *et al.*, 2008; Mukendi et Kalonji, 2011; Tshomba *et al.*, 2014; Kulimushi, 2015; Koleramungu *et al.*, 2018; Romain *et al.*, 2020; Looli *et al.*, 2021). Notons également des travaux sur la diversité des plantes pesticides ont été réalisés à la Clinique des Plantes de Kinshasa et ont donné des résultats très prometteurs. En ce qui concerne les biopesticides d'origine animale, aucun travail de recherche publié n'est réalisé en RDC à ce jour alors qu'on pourrait faire des essais sur la lutte contre les insectes ravageurs des cultures comme *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith, *Bemisia tabaci* Gennadius, *Pentalonia nigronervosa* Coquerel, *Tetranychus* sp. Koch, *Tuta absoluta* Meyrick, *Liriomyza* sp. Mik en utilisant des ennemis naturels à identifier ou encore des microorganismes (bactéries et champignons) comme *Bacillus subtilis* Ehrenberg, *B. thuringiensis* Berliner, *Beauveria bassiana* (Bals. -Criv.) Vuill, *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin, etc. (James *et al.*, 2000; Mukwa *et al.*, 2014; MINAGRI-RDC, 2018; Mukwa *et al.*, 2020). Pour les biopesticides d'origine microbienne, des bactéries comme *Bacillus velezensis* Ruiz-García S499 et GA1 (anciennement nommé *Bacillus amyloliquefaciens* Priest *et al.* S499/GA1) ont été testées pour lutter contre divers champignons phytopathogènes de la culture de maïs (*Zea mays* L.), de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) et d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) tels que *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) Vuill., *Penicillium variable* Sopp. O.J., *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg, *Aspergillus niger* Van Tieghem, *Rhizoctonia solani* Kühn, *Fusarium* sp Link., *Athelia rolfsii* (Curzi) C.C. Tu & Kimbr.(Kulimushi *et al.*, 2018; Korangi *et al.*, 2020a; Korangi *et al.*, 2020b).

Dans la pratique, certaines plantes, comme le Neem (Margousier) ou le Tithonia ou le Tournesol mexicain (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray), sont déjà testées par des associations de maraîchers (Le Monde Afrique, 2020). Le Tournesol mexicain est utilisé dans plusieurs sites maraîchers de Kinshasa pour lutter contre le mildiou qui attaque le concombre (*Cucumis sativus* L.).

Il est à noter que, jusqu'à ce jour, le pays ne regorge d'aucune unité de production de biopesticides capables de commercialiser différentes catégories des biopesticides présentés dans les lignes précédentes. En effet, la RDC est favorable à l'utilisation de ces outils biologiques bénéfiques à la fois pour les agriculteurs, les consommateurs et l'environnement. Ainsi, les principaux freins à l'essor du secteur des biopesticides en RDC seraient le manque de connexion entre les chercheurs et les utilisateurs des pesticides

biologiques, le manque d'appui des politiques dans la mise en pratique des résultats de recherche et la révision de la politique d'importation et de gestion des pesticides en RDC dans son ensemble. Parlant de cette révision, la synthèse bibliographique d'Arora *et al.* (2016) offre une vue d'ensemble sur le niveau d'organisation des systèmes réglementaires en matière des biopesticides dans plusieurs pays du monde et peut servir d'une ressource bibliographique intéressante.

Pour remédier à tous ces problèmes constituant un frein un développement de la filière « biopesticides » en RDC, il serait mieux de valoriser les différents travaux de recherche déjà réalisés et les savoirs traditionnels, d'organiser des campagnes de vulgarisation auprès des agriculteurs sur les méfaits des pesticides chimiques de synthèse, de tester des molécules bioactives ou organismes ayant fait preuve de leur potentiel en lutte biologique, etc.

#### 4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'évolution des marchés nationaux africains en rapport avec les biopesticides (importation et production locale) reste encore très faible comparativement aux pays développés comme les Etats-Unis et les pays membres de l'union européenne. En dépit de ces écarts, certains pays d'Afrique comme le Kenya, l'Afrique du sud, le Maroc, la Tunisie et la Tanzanie rendent leur marché des biopesticides plus florissants au fil des années alors qu'en RDC, d'énormes efforts sont à fournir dans ce secteur. Comparativement à ces pays d'Afrique, le taux d'importation, de production locale ou d'utilisation réelle des biopesticides en RDC reste très faible au regard des ressources naturelles et de la diversité écologique dont elle dispose.

Bien que la législation en vigueur ouvre une brèche à l'utilisation des biopesticides, le développement de cet axe demeure absent. Plusieurs travaux particulièrement sur les biopesticides d'origine végétale et d'origine microbienne, non exploités dans la pratique, ont été ou sont réalisés au sein des universités et différentes équipes de recherche du pays. Tous les fruits de ces recherches constitueraient donc la base du développement de la lutte biologique s'il faudrait démarrer des productions locales des biopesticides. Il convient de signaler également que sur le plan pratique, aucune industrie de production des biopesticides n'est encore identifiée en RDC.

Suite à leur disponibilité, les biopesticides d'origine végétale (Neem, Tithonia) sont les plus exploitées par les agriculteurs mais de manière artisanale. Plusieurs travaux de recherche axés sur cette catégorie sont également réalisés et seulement quelques-uns sur les biopesticides d'origine

microbienne (essentiellement ceux d'origine bactérienne). Aucun travail n'a été identifié sur des tests *in vitro* et *in situ* avec les biopesticides d'origine animale, virale et fongique. Cependant, la RDC dispose non seulement d'une extraordinaire variété d'écosystèmes avec une flore et une faune endémique, mais possède aussi un patrimoine biologique d'une diversité exceptionnelle et un potentiel en terres agricoles capable d'assurer la production dont le pays a besoin.

Le développement du secteur des biopesticides devra fortement associer les agriculteurs qui en sont les principaux utilisateurs et aussi les consommateurs de ces cultures traitées aux biopesticides. Il serait également intéressant d'avoir des liens étroits avec les agriculteurs afin de dénicher les différents savoirs endogènes en matière d'organismes vivants (plantes, animaux et microorganismes) qu'ils utilisent exclusivement dans certaines zones du pays suite à l'indisponibilité et au coût élevé des pesticides de synthèse. Actuellement, suite aux nouvelles connaissances acquises par les agriculteurs sur les effets néfastes des pesticides de synthèse, une nouvelle génération des agriculteurs (maraîchers majoritairement) prônant l'utilisation des biopesticides commencent à se dessiner comme le témoignent certains d'entre eux à Kinshasa.

Hormis cet aspect, les principaux acteurs de ce secteur doivent avoir des données sur le niveau de connaissances des agriculteurs sur les biopesticides. Il y aura à cet effet nécessité d'organiser des formations et des enquêtes auprès des agriculteurs en ce qui concerne les biopesticides (types, utilisation, bienfaits, etc.) et/ou des techniques de protection intégrée.

#### Remerciements

Les auteurs remercient le Chef de Travaux Reagan Falasi de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa et Monsieur Hervé-Nono Keba pour leurs précieuses suggestions qui ont permis d'améliorer la qualité de ce travail.

#### Références

- Achour S., Khattabi A., Rhalem N. *et al.*, 2011. L'intoxication par les pesticides chez l'enfant au Maroc : profil épidémiologique et aspects pronostiques (1990-2008). *Santé Publique*, 23(3), 195-205.
- Ait Kaki A., 2014. Recherche de nouvelles potentialités de bactéries du genre *Bacillus* pour l'agriculture et l'agroalimentaire. Thèse de doctorat, Université Constantine 1, Algérie et Université de Liège, Belgique, 133 p.
- Ait Kaki A., Kacem Chaouche N., Dehimat L. *et al.*, 2013. Biocontrol and Plant Growth Promotion Characterization of *Bacillus* Species Isolated from

- Calendula officinalis* Rhizosphere. *Indian Journal of Microbiology*, 53(4), 447–452.
- Anakwue R., 2019. Cardiotoxicity of Pesticides: Are Africans at Risk? *Cardiovascular Toxicology*, 19(2), 95–104.
- Anjarwalla P., Belmain S., Sola P., Jamnadass R. & Stevenson P. C., 2016. Guide des plantes pesticides. In *KewOrgWorld Agroforestry Center (ICRAF)*. [https://www.kew.org/sites/default/files/Pesticidal plants - handbook - French.pdf](https://www.kew.org/sites/default/files/Pesticidal%20plants%20handbook%20-%20French.pdf)
- Arguelles-Arias A., Ongena M., Halimi B. *et al.*, 2009. *Bacillus amyloliquefaciens* GA1 as a source of potent antibiotics and other secondary metabolites for biocontrol of plant pathogens. *Microbial Cell Factories*, 8, 1–12.
- Arora N. K., Verma M., Prakash J. & Mishra J., 2016. Regulation of Biopesticides: Global Concerns and Policies. In *Bioformulations: for Sustainable Agriculture*. Springer India. New Delhi, pp. 283–299.
- Baron N. C., Rigobelo E. C. & Zied D. C., 2019. Filamentous fungi in biological control: Current status and future perspectives. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(2), 307–315.
- Barra-Bucarei L., González M. G., Iglesias A. F., Aguayo G. S., Peñalosa M. G. & Vera P. V., 2020. *Beauveria bassiana* Multifunction as an Endophyte: Growth Promotion and Biologic Control of *Trialeurodes vaporariorum*, (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) in Tomato. *Insects*, 11(9), 591.
- Batsch D., 2011. L'impact des pesticides sur la santé humaine. Thèse de doctorat, Université de Lorraine, France, 185 p.
- Bawin T., Seye F., Boukraa S., Zimmer J.-Y., Delvigne F. & Francis F., 2015. La lutte contre les moustiques (Diptera: Culicidae): diversité des approches et application du contrôle biologique. *The Canadian Entomologist*, 147(4), 476–500.
- Berling M., Blachere-Lopez C., Soubabere O. *et al.*, 2009. *Cydia pomonella* granulovirus Genotypes Overcome Virus Resistance in the Codling Moth and Improve Virus Efficiency by Selection against Resistant Hosts. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(4), 925–930.
- Bhatt M., Mishra N. K., Kumar A., Azad N., Chaudhary P. & Singh R., 2018. Genetic pollution: causes and effect. *Everyman's Science*, LIII No 3(August-Sept 18), 145–148.
- Boland G. J., 2004. Fungal viruses, hypovirulence, and biological control of *Sclerotinia* species. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 26(1), 6–18.
- Botha A. S., Erasmus A., du Plessis H. & Van den Berg J., 2019. Efficacy of Bt Maize for Control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in South Africa. *Journal of Economic Entomology*, 112(3), 1260–1266.
- Butt T. M., Jackson C. & Magan N., 2009. Introduction – Fungal Biological Control Agents: Progress, Problems and Potential. In T. M. Butt, C. Jackson, & N. Magan (Eds.), *Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential*. CABI Publishing, pp. 311–346.
- Cawoy H., Bettiol W., Fickers P. & Ongena M., 2011. Bacillus-based biological control of Plant Diseases. In M. Stoytcheva (Ed.), *Pesticides in the Modern World – Pesticides Use and Management*. Intech Open, pp. 273–302
- Chen M. C., Wang J. P., Zhu Y. J., Liu B., Yang W. J. & Ruan C. Q., 2019. Antibacterial activity against *Ralstonia solanacearum* of the lipopeptides secreted from the *Bacillus amyloliquefaciens* strain FJAT -2349. *Journal of Applied Microbiology*, 126(5), 1519–1529.
- Dabire T. G., Bonzi S., Somda I. & Legreve A., 2016. Evaluation in vitro de l'activité antagoniste d'isolats de *Trichoderma harzianum* Pers. contre trois espèces fongiques pathogènes de l'oignon au Burkina Faso. *Tropicicultura*, 34(3), 313–322.
- David B. V., Chandrasehar G. & Selvam P. N., 2018. *Pseudomonas fluorescens*: A Plant-Growth-Promoting Rhizobacterium (PGPR) With Potential Role in Biocontrol of Pests of Crops. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Crop Improvement through Microbial Biotechnology*. Elsevier, pp. 221–243.
- De Clerck C., Maso S. D., Parisi O., Dresen F., Zhiri A. & Haissam Jijakli M., 2020. Screening of antifungal and antibacterial activity of 90 commercial essential oils against 10 pathogens of agronomical importance. *Food*, 9(10).
- Deravel J., Krier F. & Jacques P., 2014. Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 18(2), 220–232.
- Du D., Geng C., Zhang X. *et al.*, 2014. Transgenic maize lines expressing a cry1C\* gene are resistant to insect pests. *Plant Molecular Biology Reporter*, 32(2), 549–557.
- Dufour B., Calderon S., Bernadette L. & Aragon F., 1997. Lutte biologique contre le scolyte des baies du caféier en période de post récolte : Méthodes d'évaluation. *Plantations, Recherche, Développement*, 4(2), 115–122.
- EFSA, 2014. The 2012. European Union Report on pesticide residues in food. *EFSA Journal*, 12(12).
- Ehlers R.-U. & Shapiro-Ilan D. I., 2005. Mass production. In *Nematodes as Biocontrol Agents*. p. 65–78.
- Eriguchi M., Iida K., Ikeda S., *et al.*, 2019. Parkinsonism Relating to Intoxication with Glyphosate. *Internal Medicine*, 58(13), 1935–1938.
- Fingu-Mabola J. C., Bawin T. & Francis F., 2021. Direct and Indirect Effect via Endophytism of Entomopathogenic Fungi on the Fitness of *Myzus persicae* and Its Ability to Spread PLRV on Tobacco. *Insects*, 12(2), 89.

- Fravel D. R., 2005. Commercialization and implementation of biocontrol. In *Annual Review of Phytopathology*, 43, 337–359.
- Glare T., Caradus J., Gelernter W. *et al.*, 2012. Have biopesticides come of age? *Trends in Biotechnology*, 30(5), 250–258.
- Gouda A.-I., Imorou Toko I., Salami S.-D. *et al.*, 2018. Pratiques phytosanitaires et niveau d'exposition aux pesticides des producteurs de coton du nord du Bénin. *Cahiers Agricultures*, 27(6), 65002.
- Grđiša M., Carović-Stanko K., Kolak I. & Šatović Z., 2009. Morphological and Biochemical Diversity of Dalmatian Pyrethrum (*Tanacetum cinerariifolium* (Trevir.) Sch. Bip.). *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74(2), 73–80.
- Griffin C. T., Boemare N. E. & Lewis E. E., 2005. Biology and Behaviour. In P. S. Grewal, R.-U. Ehlers, & D. I. Shapiro-Ilan (Eds.), *Nematodes as Biocontrol Agents.*, pp. 47–64.
- Guèye M. T., Seck D., Wathelet J. P. & Lognay G., 2011. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : Synthèse bibliographique. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 15(1), 183–194.
- Gupta C. P., Kumar B., Dubey R. C. & Maheshwari D. K., 2006. Chitinase-mediated destructive antagonistic potential of *Pseudomonas aeruginosa* GRC1 against *Sclerotinia sclerotiorum* causing stem rot of peanut. *BioControl*, 51(6), 821–835.
- Guzmán-Guzmán P., Porrás-Troncoso M. D., Olmedo-Monfil V. & Herrera-Estrella A., 2019. *Trichoderma* species: Versatile plant symbionts. *Phytopathology*, 109(1), 6–16.
- Hoffmann C. & Thiery D., 2020. Confusion sexuelle pour le contrôle des tordeuses de la vigne - Points clés pour la mise en œuvre dans différentes régions viticoles Européennes. In *Endure*. hal-02821302, p. 4.
- Imamura T., Murata M. & Miyanoshita A., 2008. Biological Aspects and Predatory Abilities of Hemipterans Attacking Stored-Product Insects. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 42(1), 1–6.
- Jaber L. R. & Salem N. M., 2014. Endophytic colonisation of squash by the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) for managing Zucchini yellow mosaic virus in cucurbits. *Biocontrol Science and Technology*, 24(10), 1096–1109.
- Jacques P., Krier F., Davel J. Coutte, F., Béchet, M., Leclère, V., Chollet, M., Coucheney, F. & Boistel C., 2014. Les lipopeptides d'origine microbienne. *Phytoma*, 672, 38–42.
- James B., Yaninek J., Neuenschwander P., Cudjoe A., Modder W., Echendu N. & Toko M., 2000. Lutte contre les ravageurs du manioc (Guide de la pratique de lutte intégrée à l'usage des vulgarisateurs). In Iita.
- Jones J. B., Vallad G. E., Iriarte, Fanny B., Obradović, Aleksa Wernsing, Mine H., Jackson, Lee E., Balogh, Botond Hong, Jason C., Momol & M. Timur, 2012. Considerations for using bacteriophages for plant disease control. *Bacteriophage*, 2(4), e23857.
- Kaloma A., Kitambala K., Ndjango N., Sinzahera U. & Paluku T., 2008. Effet des poudres d'*Eucalyptus citriodora*, de *Cupressus lucitanica* et de *Tagetes minitiflora* dans la conservation du maïs (*Zea mays*) et du haricot (*Phaseolus vulgaris*) dans les conditions de Rethy, République Démocratique du Congo. *Tropicultura*, 26(1), 24–27.
- Kiendrebeogo M., Ouedraogo A. P. & Nacoulma O. G., 2006. Activités insecticides de *Striga hermonthica* (Del.) benth (Scrophulariaceae) sur *callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera: Bruchidae). *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 10(1), 17–23.
- Koffi-Nevry R., Kouassi K. C., Nanga Z. Y., Koussémon M. & Loukou G. Y., 2012. Antibacterial Activity of Two Bell Pepper Extracts: *Capsicum annuum* L. and *Capsicum frutescens*. *International Journal of Food Properties*, 15(5), 961–971.
- Koleramungu O. C., Mirindi T. C., Rudahaba N. *et al.*, 2018. Utilisation des plantes insecticides dans la lutte contre la mouche de haricot commun (Genre : Ophiomyia) à l'Est de la République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 24(1), 255–268.
- Konstantinidou-Doltsinis S., Markellou E., Kasselaki A.-M., Fanouraki M. N., Koumaki C. M., Schmitt A., Liopatsakalidis A. & Malathrakis N. E., 2006. Efficacy of Milsana®, a Formulated Plant Extract from *Reynoutria sachalinensis*, against Powdery Mildew of Tomato (*Leveillula taurica*). *Biocontrol*, 51(3), 375–392.
- Korangi V., Arguelles-Arias A., Malumba P., Sumbu P. E., Delaplace P. & Ongena M., 2020a. Biological activities of some Plant-Associated *Bacillus* sp. and *Paenibacillus* sp. upon growth in root exudates of Maize (*Zea mays*) and Tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties cultivated in Democratic Republic of Congo (DRC). *25th National Symposium for Applied Biological Sciences, January*, 103.
- Korangi V., Helmus C., Steels S., Sumbu P. E., Malumba P., Jacques P. & Ongena M., 2020b. Could *Bacillus* and *Paenibacillus* be used to control fungal pathogens on Peanut crop without altering symbiosis bacteria? *Fourth Edition Young Researchers Overseas Day, December*, 50.
- Koua F. H. M., 2011. *Striga hermonthica* (Del.) Benth: Phytochemistry and pharmacological properties outline. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 1(7), 1–5.
- Kulimushi E., 2015. Evaluation des effets d'insecticides botaniques sur les pucerons noirs du haricot (Aphisfabae) à Goma en République Démocratique du Congo. *Cahiers Africains Des Droits de L'homme et de La Démocratie*, July, 365–380.
- Kulimushi P. Z., Basime G. C., Nachigera G. M., Thonart P. & Ongena M., 2018. Efficacy of *Bacillus amyloliquefaciens* as biocontrol agent to fight fungal diseases of maize under tropical climates: from lab to field assays in south Kivu. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(30), 29808–29821.

- Kumar S. & Singh A., 2015. Biopesticides: Present Status and the Future Prospects. *Journal of Biofertilizers & Biopesticides*, 06(02).
- Kumari P., Bishnoi S. K. & Chandra S., 2021. Assessment of antibiosis potential of *Bacillus* sp. against the soil-borne fungal pathogen *Sclerotium rolfsii* Sacc. (*Athelia rolfsii* (Curzi) Tu & Kimbrough). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1), 17.
- Le C. N., Hoang T. K., Thai T. H., Tran T. L., Phan T. P. N. & Raaijmakers J. M., 2018. Isolation, characterization and comparative analysis of plant-associated bacteria for suppression of soil-borne diseases of field-grown groundnut in Vietnam. *Biological Control*, 121, 256–262.
- Le Monde Afrique, 2020. A Kinshasa, des femmes misent sur les plantes pesticides. <https://www.youtube.com/watch?v=MK1sB-SWo7Y>.
- Leng P., Zhang Z., Pan G. & Zhao M., 2011. Applications and development trends in biopesticides. *African Journal of Biotechnology*, 10(86), 19864–19873.
- Lengai G. M. W. & Muthomi J. W., 2018. Biopesticides and Their Role in Sustainable Agricultural Production. *Journal of Biosciences and Medicines*, 06(06), 7–41.
- Lepoivre P., 2003. *Phytopathologie : Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutte*. De Boeck Supérieur. <https://books.google.com/books?id=JpeG4zBh6sMC&pgis=1>
- Li H., Han X. & Zhao Y., 2017. Potential use of *Beauveria bassiana* in combination with *Sclerotinia guani* for improved control of *Apriona germari*. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(1), 10–15.
- Loko Y. L. E., Onzo A., Datinon B. *et al.*, 2020. Population dynamics of the predator *Alloeocranum biannulipes* Montrouzier and Signoret (Hemiptera: Reduviidae) feeding on the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae), infesting cassava chips. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(1), 1–12.
- Looli L., Monzenga J. C. & Malaisse F., 2021. Essai d'utilisation de quelques bio-insecticides contre la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) dans des conditions de laboratoire à Kisangani, R.D.Congo. *Geo-Eco-Trop*, 45(1), 95–102.
- Malti C. E. W., Baccati C., Mariani M. *et al.*, 2019. Biological Activities and Chemical Composition of *Santolina africana* Jord. Et Fourr. Aerial Part Essential Oil from Algeria: Occurrence of Polyacetylene Derivatives. *Molecules*, 24(1), 204.
- Mantzoukas S. & Eliopoulos P. A., 2020. Endophytic entomopathogenic fungi: A valuable biological control tool against plant pests. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1).
- MINAGRI-RDC, 2018. Sécurité alimentaire, niveau de production agricole et Animale, Evaluation de la campagne agricole 2017-2018 et Bilan Alimentaire de la RDCongo.
- Moscardini V. F., Marques L. H., Santos A. C. *et al.*, 2020. Efficacy of *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize expressing Cry1F, Cry1A.105, Cry2Ab2 and Vip3Aa20 proteins to manage the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Protection*, 137, 105269.
- Mukendi J. & Kalonji A., 2011. Efficacité biocide des extraits de *Tephrosia vogelii* et de *Zingiber officinale* sur la croissance in vitro de *Mycosphaerella fijiensis*, agent causal de la maladie des raies noires du bananier. Travail de fin d'études. Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo. 36 p.
- Mukwa Lyna F.T., Mukendi J., Adakate F. G., Bugeme D. M., Kalonji-Mbuyi A., & Ghimire S., 2020. First report of the South American tomato pinworm *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) and its damage in the Democratic Republic of Congo *Tuta absoluta* damages and integrated pest Management in DRC. *BiolInvasions Records*, 9.
- Mukwa Lyna F.T., Muengula M., Zinga I., Kalonji A., Iskra-Caruana M. L., & Bragard C., 2014. Occurrence and Distribution of Banana bunchy top virus Related Agro-Ecosystem in Southwestern, Democratic Republic of Congo. *American Journal of Plant Sciences*, 05(05), 647–658.
- Muliele T. M., Manzenza C. M., Ekuke L. W. *et al.*, 2018. Utilisation et gestion des pesticides en cultures maraîchères : cas de la zone de Nkolo dans la province du Kongo Central, République démocratique du Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 119(1), 11954.
- Muslim A., Horinouchi H. & Hyakumachi M., 2003. Control of Fusarium Crown and Root Rot of Tomato with Hypovirulent Binucleate Rhizoctonia in Soil and Rock Wool Systems. *Plant Disease*, 87(6), 739–747.
- Narayanasamy P., 2013. Mechanisms of action of fungal biological control agents. In H. M. T. Hokkanen (Ed.), *Biological Management of Diseases of Crops*, 1, 691.
- Nemakanga R., Matshidze P.E., Jideani A. I. O. & Tshisikhawe P., 2018. The Exploration of Indigenous Knowledge on Management of Magonono in Enhancing the Production of Crops in Thulamela Municipality. *African Renaissance*, 15(4), 139–156.
- Ngalimat M. S., Yahaya R. S. R., Baharudin M. M. A. *et al.*, 2021. A Review on the Biotechnological Applications of the Operational Group *Bacillus amyloliquefaciens*. *Microorganisms*, 9(3), 614.
- Ngweme G., Kiyombo G., Sikulisimwa C., Mulaji C. & Aloni J., 2019. Analyse des connaissances, attitudes et pratiques des maraîchers de la Ville de Kinshasa en rapport avec l'utilisation des pesticides et l'impact sur la santé humaine et sur l'environnement. *Afrique Science*, 15(4), 122–133.
- Nihorimbere V., Ongena M., Cawoy H. *et al.*, 2010. Beneficial effects of *Bacillus subtilis* on field-grown tomato in Burundi: Reduction of local Fusarium disease and growth promotion. *African Journal of Microbiology Research*, 4(11), 1135–1142.

- Ockleford C., Adriaanse P., Hougaard Bennekou S. *et al.*, 2018. Scientific opinion on pesticides in foods for infants and young children. *EFSA Journal*, 16(6).
- Oguh C. E., Okpaka C. O., Ubani C. S., Okekaji U., P.S. J. & Amadi E. U., 2019. View of Natural Pesticides (Biopesticides) and Uses in Pest Management- A Critical Review. *Asian Journal of Biotechnology and Genetic Engineering*, 2(3), 1-18.
- Ongena M. & Jacques P., 2008. *Bacillus* lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. *Trends in Microbiology*, 16(3), 115–125.
- Parker K. M. & Sander M., 2017. Environmental Fate of Insecticidal Plant-Incorporated Protectants from Genetically Modified Crops: Knowledge Gaps and Research Opportunities. *Environmental Science and Technology*, 51(21), 12049–12057.
- Patel R. R., Thakkar V. R. & Subramanian B. R., 2015. A *Pseudomonas guariconensis* strain capable of promoting growth and controlling collar rot disease in *Arachis hypogaea* L. *Plant and Soil*, 390(1–2), 369–381.
- Ramírez M., Neuman B. W. & Ramírez C. A., 2020. Bacteriophages as promising agents for the biological control of Moko disease (*Ralstonia solanacearum*) of banana. *Biological Control*, 149, 104238.
- Ritika B. & Utpal D., 2014. An overview of fungal and bacterial biopesticides to control plant pathogens/diseases. *African Journal of Microbiology Research*, 8(17), 1749–1762.
- Romain M.-M., Eric M. M., Henri U. U. *et al.*, 2020. Influence du *Tithonia diversifolia* associé aux buttages sur le contrôle des mouches (*Ophiomyia* spp) et le rendement du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) à l'Est de la RD Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 29(3), 495–507.
- Rzozzi S. I. B., 2002. Les Utilisations alternatives des huiles. *Rapport de Conférence : Premier Symposium National Sur Le Développement de La Filière Des Oléagineux Au Maroc, At Kénitra, Morocco, August*, 237–245.
- Safni I. & Antastia W., 2018. *In vitro* antagonism of five rhizobacterial species against *Athelia rolfsii* collar rot disease in soybean. *Open Agriculture*, 3(1), 264–272.
- Sahayaraj K., 2014. Basic and Applied Aspects of Biopesticides. In K. Sahayaraj (Ed.) *Basic and Applied Aspects of Biopesticides*. Springer India. New Delhi, pp. 384.
- Sellami S., Tounsi S. & Jamoussi K., 2015. La lutte biologique, alternative aux produits phytosanitaires chimiques. *Journal Of New Sciences, Agriculture and Biotechnology*, 19(5), 736–743.
- Senthil-Nathan S., 2015. A Review of Biopesticides and Their Mode of Action Against Insect Pests. In P. Thangavel & G. Sridevi (Eds.), *Environmental Sustainability: Role of Green Technologies* (Springer I), pp. 324.
- Shah P. A. & Pell J. K., 2003. Entomopathogenic fungi as biological control agents. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61(5–6), 413–423.
- Sharma M., Guleria S., Singh K., Chauhan A. & Kulshrestha S., 2018. Mycovirus associated hypovirulence, a potential method for biological control of *Fusarium* species. *Virus Disease*, 29(2), 134–140.
- Tabashnik B. E., Huang F., Ghimire M. N. *et al.*, 2011. Efficacy of genetically modified Bt toxins against insects with different genetic mechanisms of resistance. *Nature Biotechnology*, 29(12), 1128–1131.
- Tabib M. & Kallel S., 2016. Nature & Technologie Mise en évidence pour la première fois de la pathogénie des nématodes entomopathogènes du genre *Heterorhabditis* sur les œufs de criquets. *Nature & Technologie*, 14, 7–19.
- Thakore Y., 2006. The biopesticide market for global agricultural use. *Industrial Biotechnology*, 2(3), 194–208.
- Toé A. M., 2010. Étude pilote des intoxications dues aux pesticides agricoles au Burkina Faso. In *Secrétariat de la Convention de Rotterdam ; FAO* (Issue September).
- Tonelli M. L., Taurian T., Ibáñez F., Angelini J. & Fabra A., 2010. Selection and *in vitro* characterization of biocontrol agents with potential to protect peanut plants against fungal pathogens. *Journal of Plant Pathology*, 92(1), 73–82.
- Tshomba S., Onautshu D. & Etobo J. P., 2014. Evaluation de la sensibilité des souches de *Mycosphaerella fijiensis* aux extraits de quelques plantes médicinales de la région de Kisangani (RD Congo). Travail de fin d'études, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, République Démocratique du Congo, 38 p.
- Van Lenteren J. C., 2000. Success in Biological Control of Arthropods by Augmentation of Natural Enemies Inundative release Seasonal inoculative release. *Biological Control: Measures of Success*, 77–103.
- Villaverde J. J., Sandín-España P., Sevilla-Morán B., López-Goti C. & Alonso-Prados J. L., 2016. Biopesticides from Natural Products: Current Development, Legislative Framework, and Future Trends. *BioResources*, 11(2), 5618–5640.
- Werrie P. Y., Durenne B., Delaplace P. & Fauconnier M. L., 2020. Phytotoxicity of essential oils: Opportunities and constraints for the development of biopesticides. A review. *Foods*, 9(9), 1–24.
- Yarou B. B., Silvie P., Komlan F. A. *et al.*, 2017. Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (Synthèse bibliographique). *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 21(4), 288–304.
- Zaki O., Weekers F., Thonart P., Tesch E., Kuenemann P. & Jacques P., 2020. Limiting factors of mycopesticide development. *Biological Control*, 144 (April 2019), 104220.