

Efficacité d'un biopesticide à base d'extrait de *Cymbopogon winteranus* (citronnelle) en culture de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) au Centre de la Côte d'Ivoire

[Efficacy of a biopesticide based on *Cymbopogon winteranus* (lemon grass) extract in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation in central Côte d'Ivoire]

Gadji Alahou André Gabaze¹, Doumbouya Mohamed², Kouakou Malanno³, Coulibaly Noupé Diakaria¹, Fondio Lassina¹, and ABO Kouabenan⁴

¹Programme Cultures Maraîchères et Protéagineuses, Station de Recherche sur les Cultures Vivrières (SRCV), Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bouaké, 01 PB 633 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

²Département de Biologie Végétale, Unité de Formation et de Recherche des Sciences Biologiques, Université Peleforo GON COULIBALY, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

³Laboratoire d'Entomologie, Station de Recherche sur le Coton (SRC), Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bouaké, 01 PB 633 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

⁴Laboratoire de Phytopathologie et de Biologie Végétale, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the efficacy of the biopesticide Prolaly on the improvement of productivity and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). The study was carried out in a randomized complete block design with three (03) repetitions. Treatments were carried out once a fortnight, using a sprayer, 21 days after transplanting (DAT). Vegetative growth parameters, statistically identical for all treatments at 32 DAT, were statistically different at 75 DAT. Phenological stages did not vary between treatments. The entomological data obtained revealed that the TB biological treatment was more effective in controlling whiteflies but less effective against *Helicoverpa armigera*. Furthermore, two diseases were observed in the experimental plot. They are a virus related to the spoon leaf curl virus (TYLCV) and a fungal disease related to collar rot. The incidences of virus disease on tomato plants were 80, 80 and 100% for TC, TB and T0 treatments respectively. Regarding fungal disease, the incidences were 20, 30 and 50% for TC, TB and T0 treatments, respectively. However, the highest healthy fruit rate (56.34%) was obtained with the TB treatment with a net yield (6.15 t/ha) statistically identical ($p = 0.0230262$) to that of the TC treatment (6.31 t/ha). Plant extract formulations would be an alternative in the biological management of diseases and insect pests of vegetable crops.

KEYWORDS: *Solanum lycopersicum*, *Cymbopogon winteranus* extract, copper oxychloride, lambda cyhalothrin, acetamiprid, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude vise à évaluer l'efficacité du biopesticide Prolaly sur l'amélioration de la productivité et la qualité de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Le dispositif expérimental était en blocs de Fisher avec trois répétitions. Les traitements ont été effectués une fois par quinzaine, à l'aide d'un pulvérisateur, 21 jours après repiquage (JAR). Les paramètres de croissance végétative, statistiquement identiques pour tous les traitements à 32 JAR, ont été statistiquement différents à 75 JAR. Les stades phénologiques n'ont pas variés d'un traitement à l'autre. Les données entomologiques obtenues révèlent que le traitement biologique TB a été plus efficace dans le contrôle des aleurodes mais moins efficace contre *Helicoverpa armigera*. Par ailleurs, deux maladies ont été observées sur la parcelle d'expérimentation. Il s'agit d'une virose liée au virus de l'enroulement des feuilles en cuillère (TYLCV) et d'une maladie fongique liée à la pourriture du collet. Les incidences de la maladie virale sur les plants de tomate ont été de 80, 80 et 100 % respectivement pour les traitements TC, TB et T0. Concernant la maladie fongique, les incidences ont été de 20, 30 et 50 % respectivement pour les traitements TC, TB et T0. Toutefois, le taux de fruits sains le plus élevé (56,34 %) a été obtenu avec le traitement TB avec un rendement net (6,15 t/ha) statistiquement identique ($p = 0,0230262$) à celui du traitement TC (6,31 t/ha). Les formulations à base d'extrait végétaux constitueraient une alternative dans la gestion biologique des maladies et insectes ravageurs des cultures maraîchères.

MOTS-CLÉS: *Solanum lycopersicum*, extrait de *Cymbopogon winteranus*, oxychlorure de cuivre, lambda cyhalothrine, acétamipride, Côte d'Ivoire.

1. INTRODUCTION

Parmi les produits agricoles de première nécessité, la tomate figure en bonne place. La tomate est une plante herbacée appartenant à la famille des solanacées qui compte parmi les cultures légumières les plus importantes du monde [1]. Selon le Fonds des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), elle occupe la deuxième place dans la production maraîchère après la pomme de terre. Ce légume fruit est cultivé dans plus de 170 pays. Les principaux pays producteurs sont la Chine, les Etats-Unis, l'Inde, la Turquie et l'Égypte [2]. En 2017, la production mondiale de la tomate était estimée à 183 millions de tonnes. En Côte d'Ivoire, la production annuelle était estimée à 40 000 tonnes [2] contre un besoin de 100 000 tonnes par an [3]. La production de tomate en Côte d'Ivoire occupe une frange importante de la population constituée près de 60 % de femmes et de jeunes des zones rurales et péri-urbaines [4]. La tomate représente l'une des principales sources de vitamines et d'oligo-éléments pour les populations [5]. Elle est riche en sels minéraux, vitamines et protéines. Les caroténoïdes qu'elle contient font d'elle une plante médicinale. Ces pigments sont de puissants antioxydants, en particulier, le lycopène réputé pour ses propriétés anticancéreuses et de prévention contre les maladies cardiovasculaires. Le fruit de la tomate peut être consommé frais ou cuit. Il peut également être transformé en soupe, ketchup, purée, pâte ou en poudre [6].

Malgré, les avantages que la tomate représente pour le bien-être des populations, sa culture fait face à de nombreuses contraintes biotiques qui menacent la production avec des baisses de rendement allant jusqu'à 90 % [7]. En effet, différents champignons, virus, bactéries et nématodes provoquent des maladies au niveau des feuilles, des fruits ou des racines des plants de tomates. A cela s'ajoute l'action de plusieurs insectes ravageurs qui s'attaquent aux plantes et sont à l'origine de nombreuses pertes de production. Face à ces contraintes, différentes stratégies de lutte ont été développées. Parmi ces méthodes, la lutte chimique basée sur l'usage intensif de pesticides chimiques dans les plantations s'est avérée la plus efficace [8]. Cependant, des applications importantes de pesticides ne sont pas sans conséquences car elles augmentent les risques de pollutions, de maladies, de résistances des agents pathogènes du fait de l'usage répété des mêmes molécules [9]. Face aux effets néfastes des pesticides chimiques, de nouveaux outils de lutte respectueux de l'environnement et de la santé humaine s'imposent. Au nombre de ces outils, l'usage de biopesticides à base d'extraits végétaux constitue une alternative intéressante pour la gestion agroécologique des bioagresseurs. C'est dans ce contexte que ce présent travail est réalisé à l'effet de contribuer à la protection phytosanitaire de la tomate par l'application d'un biopesticide à base d'extrait de *Cymbopogon winteranus* (citronnelle).

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. SITE DE L'ÉTUDE

L'essai a été conduit à la station de recherche sur les cultures vivrières du Centre National de Recherche Agronomique (SRCV/CNRA). Cette station de recherche est située à Bouaké au Centre de la Côte d'Ivoire à 7°46' de latitude Nord, 5°06' de longitude Ouest et 375 m d'altitude [10]. Le climat est de type tropical humide et la végétation est constituée de savane arborée. La pluviométrie enregistrée, durant la période de l'étude, de décembre 2020 à mars 2021, a varié de 58 à 98,5 mm de pluie. La température a oscillé, le jour et la nuit, entre 24,33 et 30,09 °C avec une humidité relative comprise entre 58,33 et 83,68 %, la nuit et le jour.

2.2. PESTICIDES CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE

Deux pesticides chimiques commerciaux ont été utilisés comme traitement chimique (TC). L'un est un fongicide chimique composé d'oxychlorure de cuivre à 50 % (Callicuivre 50 WP) et l'autre est un insecticide chimique composé de lambda cyhalothrine dosé à 15 g/l et d'acétamipride dosé à 20 g/l (K-Optimal EC). Quant au biopesticide commercial (Proraly 50 EC), il est constitué de 50 ml/L d'extrait de *Cymbopogon winteranus* (citronnelle). Il renferme également du Thymol, de l'Eugénol, du Citronellal et du Citronellol. Il a été utilisé comme un traitement biologique (TB).

2.3. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET PRATIQUE AGRICOLE

L'essai porte sur la tomate variété Cobra 34 F1 de la gamme Technisem. Il a été conduit suivant un dispositif en blocs complets randomisés avec trois (03) répétitions. La distance entre les blocs ou répétitions est de 2 m et entre les parcelles élémentaires successives de 1 m. Chaque parcelle élémentaire fait 10 m de long et 5 m de large, soit une superficie de 50 m². Les plants de tomate ont été repiqués, sur chaque parcelle élémentaire, en quatre lignes à raison de 15 plants par ligne. Le facteur traitement a été étudié à trois niveaux correspondant au traitement biologique (TB), traitement chimique (TC) et traitement témoin ou parcelle non traitée (T0). Un système d'irrigation a été mis en place pour l'apport en eau de la parcelle. Ce système est constitué d'un forage fermé et une irrigation goutte à goutte en 4 lignes par parcelle élémentaire.

2.4. PRÉPARATION DES BOUILLIES ET APPLICATIONS DES TRAITEMENTS

Le biopesticide Proraly 50 EC a été utilisé à la dose de 2 %. Une quantité de 200 ml du produit commercial a été mélangé à 10 l d'eau de source. Le mélange a été effectué dans un pulvérisateur à dos de 16 litres. Quant au pesticide chimique, la bouillie a été obtenue en diluant respectivement 20 ml de K-Optimal dans 8 l d'eau de source et 75 g de la poudre mouillable du Callicuivre 50 WP dans 15 l d'eau de source. Chaque produit dilué a été agité séparément dans un pulvérisateur de 16 litres de sorte à obtenir une suspension homogène. Les bouillies obtenues ont servi pour le traitement des plants de tomate. Le traitement biologique (TB) a été fait une fois par quinzaine entre 7 h et 8 h, à l'aide d'un pulvérisateur à dos de 16 l. Quant aux traitements chimiques, ils ont été effectués une fois par quinzaine de façon alternative entre l'insecticide chimique et le fongicide chimique à la même heure.

2.5. COLLECTE DES DONNÉES

2.5.1. OBSERVATIONS AGRONOMIQUES

Les observations et mesures ont été effectuées aux différents stades de développement de la culture. Elles ont porté sur 10 plants pris au hasard suivant une diagonale, dans chaque parcelle élémentaire, selon le schéma suivant: 2 plants sur la ligne 1, 3 plants sur la ligne 2, 3 plants sur la ligne 3 et 2 plants sur la ligne 4. Les paramètres suivants ont été mesurés:

- La hauteur des plants, le diamètre au collet ainsi que le nombre, la longueur et la largeur des feuilles;
- La détermination de la durée des stades phénologiques a porté sur le délai de floraison, de fructification et de maturation. Le délai de floraison est noté lorsque 50 % des plants de la parcelle élémentaire ont fleuri. Quant à la fructification, elle est déterminée quand 50 % des plants de la parcelle élémentaire porte des fruits. Concernant le délai de maturation ou stade de première récolte, il est également déterminé quand 50 % des plants de la parcelle élémentaire porte des fruits mûrs.
- Les composantes du rendement ont été évaluées à partir des récoltes. Ainsi, à chaque récolte, le nombre et le poids des fruits sains et ceux avariés ont été déterminés. Ces valeurs ont permis de calculer les rendements potentiel et net et les taux de fruits sains et ceux avariés par parcelle élémentaire.

2.5.2. OBSERVATIONS ENTOMOLOGIQUES

Sur chaque parcelle élémentaire, l'inventaire et le suivi de l'évolution du nombre d'insectes ravageurs ont été effectués. Il s'est agi d'effectuer:

- Le comptage du nombre d'insecte piqueurs suceurs sur les 10 plants sélectionnés par parcelle élémentaire au 14^{ème} et 75^{ème} jour après repiquage (JAR);
- Le comptage du nombre de larve de lépidoptère sur les 10 plants sélectionnés par parcelle élémentaire au 14^{ème} et 75^{ème} JAR.

2.5.3. OBSERVATIONS DES MALADIES

L'enregistrement des symptômes a été réalisé chaque semaine à partir de l'apparition des premiers symptômes jusqu'au 75^{ème} jour après repiquage (JAR). Les observations ont porté également sur 10 plants choisis au hasard en diagonale suivant la technique décrite précédemment. Ainsi, l'incidence a été déterminée par le rapport du nombre de plants malades sur le nombre total de plants observés par parcelle élémentaire selon l'équation suivante:

$$IM (\%) = \frac{NI}{NT} \times 100$$

IM (%): incidence moyenne d'une maladie

NI: nombre de plants infectés par un type de symptôme

NT: nombre total de plants observés

Quant à la sévérité des maladies, elle a été évaluée sur les mêmes plants que précédemment selon une échelle de notation des symptômes décrite par la référence [11]. Cette échelle varie de 1 à 5 avec 1: aucuns symptômes visibles), 2: faiblement attaqué; 3: moyennement attaqué; 4: très attaqué; 5: plante morte. La sévérité a été déterminée selon l'Equation suivante:

$$\text{Sévérité} = \frac{\text{Somme de scores des plants malades}}{\text{Nombre de plants observés}}$$

2.5.4. ESTIMATION DU RENDEMENT

Les rendements potentiel et net ($t. ha^{-1}$) ont été obtenus en pesant d'une part le nombre total de fruits et d'autre part, le nombre de fruits apparemment sains et avariés pour chaque traitement et par extrapolation à l'hectare selon les Equations suivantes:

$$\text{Rendement brut (t. ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Masse de tous les fruits (kg)}}{\text{surface parcellaire en m}^2} \times \frac{10000 \text{ m}^2}{1000}$$

$$\text{Rendement net (t. ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Masse de tous les fruits sains (kg)}}{\text{Surface parcellaire en m}^2} \times \frac{10000 \text{ m}^2}{1000}$$

2.6. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Les données collectées ont été analysées avec le logiciel STATISTICA version 7.1. Des analyses de variance à un facteur (ANOVA 1) ont été effectuées pour obtenir les moyennes des différents paramètres agronomiques et sanitaires. Lorsqu'une différence significative est constatée, le test LSD Fisher au seuil de 5 % est effectué pour classer les moyennes en groupes homogènes.

3. RESULTATS

3.1. PARAMÈTRES AGRO-MORPHOLOGIQUES MESURÉS

3.1.1. HAUTEUR DES PLANTS ET DIAMÈTRE AU COLLET

Les résultats de la hauteur et du diamètre au collet des plants obtenus à 32 et à 75 jours après repiquage (JAR) sont consignés dans le tableau 1. La hauteur moyenne des plants et le diamètre moyen au collet ont varié d'un traitement à un autre. Ainsi, la hauteur moyenne des plants a été de 39,70 cm à 32 JAR et de 81,67 cm à 75 JAR, pour le traitement chimique (TC). Quant au traitement biologique (TB), la hauteur des plants a été de 40,66 et de 78,25 cm, respectivement à 32 et à 75 JAR. Concernant la parcelle témoin non traitée (T0), la hauteur moyenne des plants 32 JAR a été de 37,16 cm et de 66,73 cm à 75 JAR. Concernant le diamètre moyen au collet, les plants traités avec l'insecticide et le fongicide chimiques de référence (TC) ont présenté un diamètre moyen au collet de 0,66 cm à 32 JAR et de 1,34 cm à 75 JAR. Par contre, le diamètre moyen au collet des plants traités avec TB a été de 0,64 cm à 32 JAR et de 1,32 cm 75 à JAR. Quant aux plants non traités (T0), ils ont présenté un diamètre moyen au collet de 0,62 cm à 32 JAR et de 0,91 cm à 75 JAR. L'analyse statistique a montré qu'à 32 JAR il n'y a eu aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les traitements aussi bien pour la hauteur des plants que pour le diamètre au collet. Cependant, à 75 JAR, une différence significative ($p < 0,05$) a été observée entre les traitements pour ces mêmes paramètres. Les traitements TB et TC statistiquement identiques ont différé du traitement T0 qui a présenté les plus petites valeurs.

Tableau 1. Hauteur et nombre de feuilles des plants à 32 et à 75 JAR

Traitements	Hauteur des plants 32 JAR (cm)	Diamètre au collet 32 JAR (cm)	Hauteur des plants 75 JAR (cm)	Diamètre au collet 75 JAR (cm)
T0	37,16±1,82a	0,62±0,35a	66,73±5,03b	0,91±0,11b
TB	40,66±5,06a	0,64±0,05a	78,25±3,33a	1,32±0,15a
TC	39,70±1,70a	0,66±0,12a	81,67±2,12a	1,34±0,10a
Moyenne	39,17±4,98	0,64±0,07	75,55±5,71	1,19±0,88
F	1,223	0,83	6,561	0,72
P	0,085	0,079	0,003	0,001

Les valeurs suivies d'une même lettre, dans une même colonne, ne présentent aucune différence significative au seuil de 5% (Test LSD de Fisher).

3.1.2. NOMBRE, LONGUEUR ET LARGEUR DES FEUILLES

Le tableau 2 donne les résultats du nombre de feuilles, la longueur et la largeur des feuilles à 32 et à 75 JAR, après traitement des plants de tomate. Des variations ont été observées aussi bien pour le nombre de feuilles, que pour la longueur et la largeur des feuilles. Concernant le nombre de feuilles à 32 et à 75 JAR, les plants traités avec TC ont présenté en moyenne 9 feuilles à 32 JAR et 33 feuilles à 75 JAR. Ce même nombre de feuille a été obtenu avec les plants traités avec TB à la même période. Quant aux plants non traités (T0), ils

ont présenté en moyenne 8 feuilles à 32 JAR et 17 feuilles à 75 JAR. Toutefois, aucune différence significative n'a été observée entre les différents traitements en ce qui concerne le nombre moyen des feuilles à 32 JAR ($p = 0,533$), la longueur et la largeur des feuilles à 32 JAR ($p = 0,550$ et $p = 0,574$). Contrairement au 32^e JAR, l'analyse statistique a montrée qu'une différence significative ($p < 0,05$) a été observée entre les traitements à 75 JAR. En effet, les traitements TB et TC ont donné de meilleurs résultats qui ont été statistiquement différents du traitement T0.

Tableau 2. Nombre de feuilles, longueur et largeur des feuilles à 32 et à 75 JAR

Traitements	Nombre de feuilles 32 JAR (cm)	Longueur de feuille 32 JAR (cm)	Largeur de feuille 32 JAR (cm)	Nombre de Feuilles 75 JAR (cm)	Longueur de feuille 75 JAR (cm)	Largeur de feuille 75 JAR (cm)
T0	8,80±0,45a	14,20±0,51a	9,90±0,70a	17,70±2,73b	15,32±1,15b	10,14±0,70b
TB	9,80±1,70a	22,50±6,08a	14,42±3,23a	33,67±3,50a	24,81±3,73a	17,33±4,08a
TC	9,16±0,41a	21,36±1,00a	14,37±0,11a	33,86±6,34a	23,03±1,28a	16,80±1,00a
Moyenne	9,25±1,00	19,04±1,00	12,89±1,81	28,41±2,55	21,05±2,55	14,75±2,68
F	0,699	0,661	0,608	4,336	1,616	1,058
P	0,533	0,550	0,574	0,008	0,001	0,003

Les valeurs suivies d'une même lettre, dans une même colonne, ne présentent aucune différence significative au seuil de 5% (Test LSD de Fisher)

3.1.3. STADES PHÉNOLOGIQUES ÉTUDIÉS

Les résultats des délais de floraison, de fructification et de maturation sont consignés dans le tableau 3. Le délai de floraison a été 32 jours en moyenne pour tous les traitements. En ce qui concerne le délai de fructification, il a été en moyenne de 51, 52 et 53 JAR respectivement pour les plants traités avec TC, les plants non traités (T0) et les plants traités avec TB. S'agissant du délai de maturation, il a fluctué de 69 à 75 JAR. L'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative ($p > 0,05$) entre l'effet induit par les traitements sur la phénologie de la variété cobra 34 F1 de tomate étudiée.

Tableau 3. Délais de floraison, de fructification et de maturation

Traitements	Délai de Floraison	Délai de fructification	Délai de Maturation
T0	32,66±1,15a	52±4,58a	75±3,51a
TB	32,66±2,08a	53±5,19a	72±1,05a
TC	32,33±0,57a	51±3,46a	69±4,93a
F	1,223	0,83	6,561
P	0,358	0,479	0,070

Les valeurs suivies d'une même lettre, dans une même colonne, ne présentent aucune différence significative au seuil de 5% (Test LSD de Fisher)

3.2. ETAT SANITAIRE

3.2.1. DONNÉES ENTOMOLOGIQUES

La figure 1 présente les courbes d'évolution du nombre moyen des aleurodes, des larves de *Helicoverpa armigera* et de *Spodoptera littoralis* par feuille en fonction des traitements du 14^{ème} au 75^{ème} jour après repiquage (JAR). Le traitement TB et le traitement TC ont réduit les populations d'aleurodes sur les feuilles avec des niveaux respectifs de 15 et de 17 individus contrairement au traitement T0 où la population était en moyenne de 32 individus à 75 JAR. Les effets induits par le traitement biologique à base d'extrait de *Cymbopogon winteranus* et le traitement chimique à base de lamda cyhalothrine et d'acétamipride ont été statistiquement identiques ($p > 0,05$) dans la gestion des aleurodes (Figure 1A). Quant aux larves de *Helicoverpa armigera*, le traitement chimique a réduit leur évolution sur les plants de tomate à 3 individus (Figure 1B). Ce traitement a été plus efficace sur les larves d'*Helicoverpa armigera* que le traitement biologique. Concernant les larves de *Spodoptera littoralis*, leur évolution a été limitée au plus à 4 individus par plant en utilisant les traitements TB et TC contrairement aux plants non traités (T0) où le nombre moyen d'individus était à 8 par feuille au 75^{ème} JAR (Figure 1C).

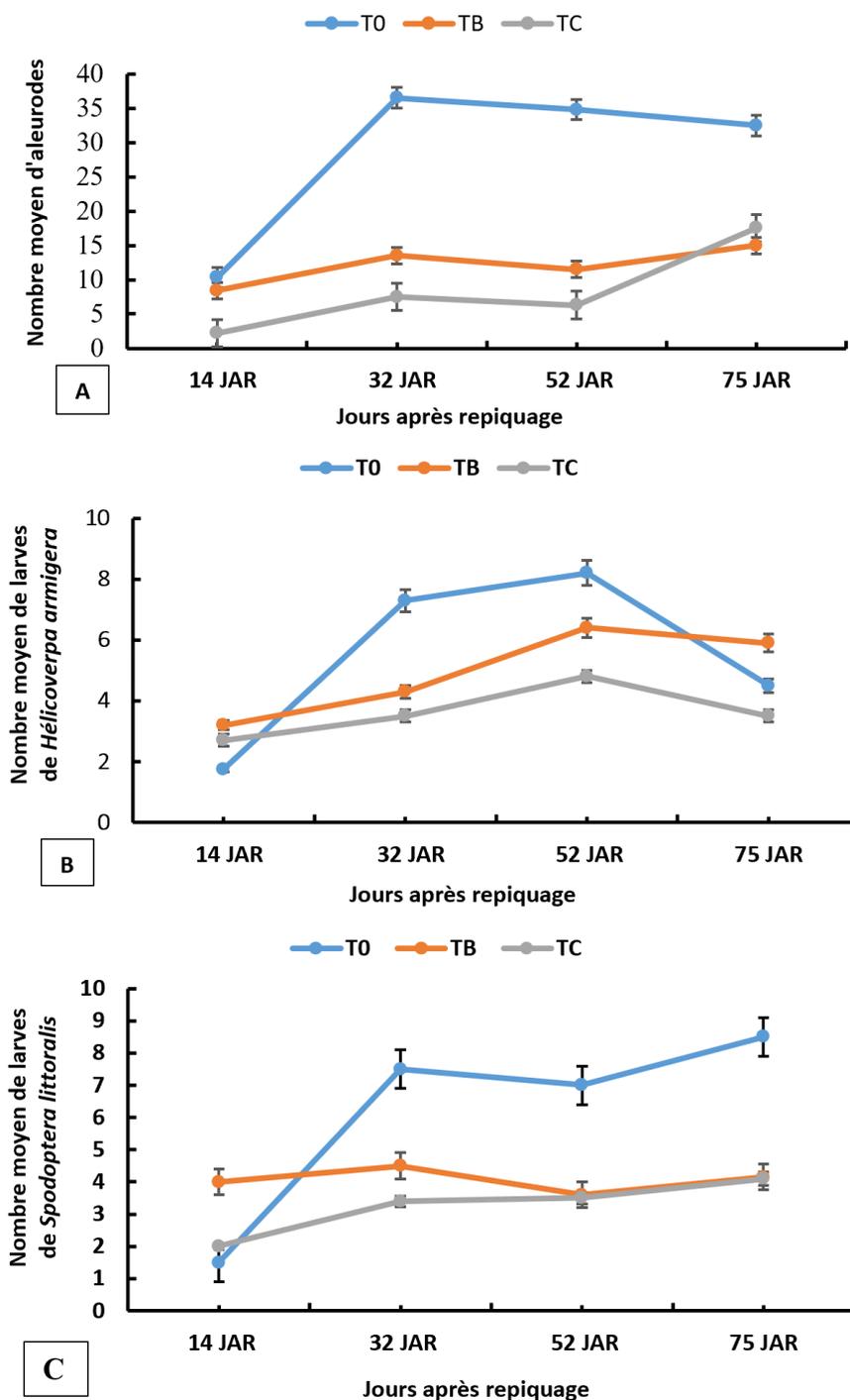


Fig. 1. Courbe d'évolution du nombre moyen d'aleurodes (A), de larves de *helicoverpa armigera* (B) et de *spodoptera littoralis* (C) Par feuille en fonction des périodes d'observation

3.2.2. DONNÉES PHYTOPATHOLOGIQUES

3.2.2.1. INCIDENCES DES MALADIES

La figure 2 présente les courbes d'évolution de l'incidence moyenne des maladies depuis l'apparition des premiers symptômes au 26^{ème} JAR jusqu'au 68^{ème} JAR. La variabilité de l'incidence des maladies est liée aux différents traitements appliqués. Pour les parcelles non traitées (traitement T0), les plants observés ont été tous atteints au 40^{ème} JAR par le virus de l'enroulement des feuilles en cuillère (Figure 2A). Les incidences enregistrées avec les traitements TB et TC ont été identiques (60 et 80 %) à partir du 40^{ème} JAR jusqu'au dernier jour des observations. Concernant la maladie fongique, l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative ($p \geq 0,153202$) entre les effets induits par les traitements T0, TB et TC sur l'incidence depuis l'apparition des premiers symptômes au 68^{ème} JAR (Figure 2B).

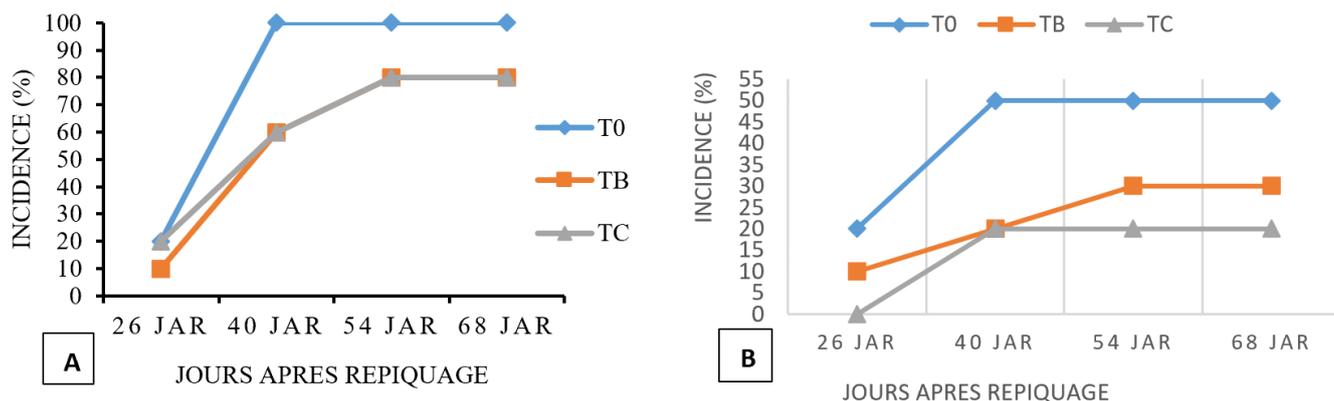


Fig. 2. Courbes d'évolution de l'incidence moyenne des maladies virale (A) et fongique (B)

3.2.2.2. SÉVÉRITÉ DES MALADIES

La figure 3 présente les courbes d'évolution des sévérités des maladies virale et fongique. La variation des sévérités a été fonction des traitements. Les résultats obtenus montrent une augmentation rapide de la sévérité de la virose chez les plants non traité (T0) pour atteindre la note de 3,9 au 68^{ème} JAR (Figure 3A). Par contre chez les plants traités avec TB et TC, cette sévérité a aussi évolué en passant de 1,2 le 26^{ème} JAR à 2,8 le 68^{ème} JAR. Toutefois, l'analyse statistique n'a indiqué aucune différence significative ($p = 1$) entre l'effet induit par ces deux traitements sur les symptômes de la virose. Quant à la sévérité de la maladie fongique, elle a été statistiquement identique ($p \geq 0,468768$) pour tous les plants traités avec les traitements TB et TC depuis l'observation des premiers symptômes au 68^{ème} JAR (Figure B).

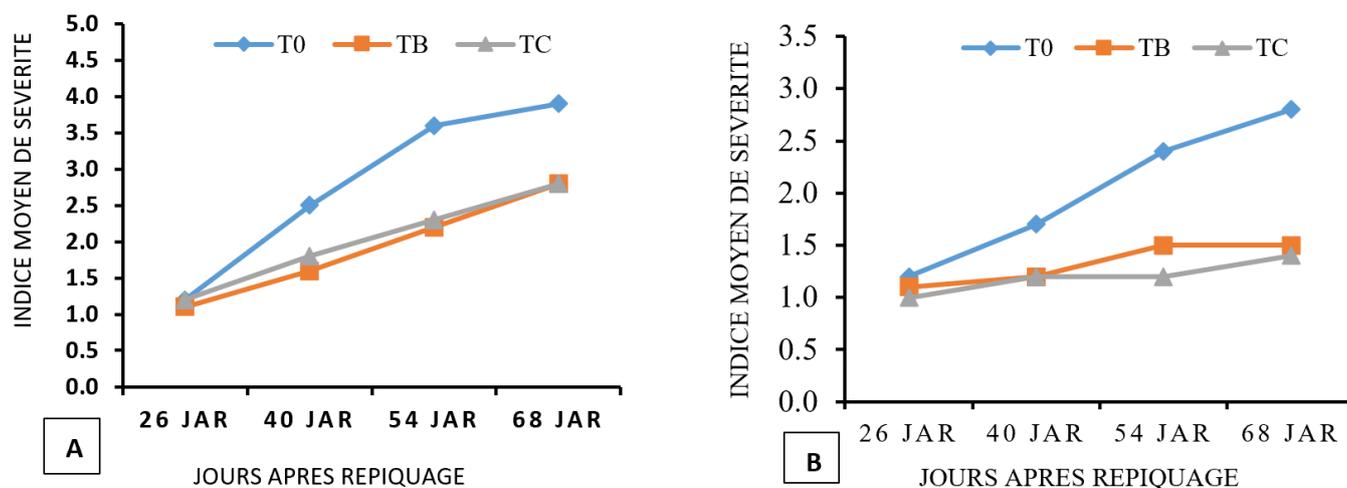


Fig. 3. Courbes d'évolution de l'indice moyen de sévérité des maladies virale (A) et fongique (B)

3.3. ESTIMATION DU RENDEMENT

3.3.1. TAUX DES FRUITS SAINS ET AVARIÉS

Les résultats obtenus et illustrés au tableau 4 ont montré des variations aussi bien pour le taux des fruits sains que pour le taux des fruits avariés. Concernant le taux de fruits sains, les traitements TB et TC ont enregistré les plus grandes valeurs qui sont respectivement de 56,34 % et de 53,1 %. Quant au traitement T0, il a enregistré la plus petite valeur qui est de 29,78 %. Les traitements TB et TC ont été statistiquement différents ($p = 0,00027$). Pour le taux des fruits avariés, le traitement T0 a enregistré la plus grande valeur qui est de 70,72 %. Quant au traitement TB et TC, ils ont enregistré les plus petites valeurs qui sont respectivement de 43,66 et de 46,9 %. L'analyse des variances à montrer qu'il y a une différence significative ($p < 0,05$) entre les traitements aussi bien pour le taux des fruits sains que pour le taux de fruits avariés. Les traitements TB et TC ayant obtenus les meilleurs résultats ont différencié significativement du traitement T0.

3.3.2. RENDEMENT BRUT ET NET

Les rendements bruts et nets obtenus sont consignés dans le tableau 4. D'un traitement à un autre, des variations sont observés aussi bien pour le rendement brut que pour le rendement net. Les meilleurs rendements ont été obtenus sur les parcelles traitées avec le produit biologique (TB) et le produit chimique (TC). Concernant le rendement brut, le traitement chimique TC a obtenu un total de 8,24 t/ha, le traitement TB a enregistré 7,88 t/ha et le traitement T0 a donné 4,88 t/ha. Pour ce qui concerne le rendement net, le traitement TC a enregistré 6,31 t/ha. Le traitement TB a enregistré un rendement net de 6,15 t/ha. Quant au traitement T0, il a présenté 2,10 t/ha. L'analyse des variances a montré qu'il y a une différence significative ($p < 0,05$) entre les traitements pour les rendements bruts et nets. Les traitements TB et TC ont été statistiquement identiques ($p = 0,230262$) mais différents du traitement T0.

Tableau 4. Taux de fruits sains et avariés, rendement brut et net

Traitement	Taux de fruits Sains (%)	Taux de fruits Avariés (%)	Rendement brut (t/ha)	Rendement net (t/ha)
T0	29,78 ± 1,62a	70,72 ± 1,49a	4,88 ± 0,43a	2,1 ± 0,16a
TB	56,34 ± 0,43b	43,66 ± 0,43b	7,88 ± 0,19b	6,15 ± 0,31b
TC	53,1 ± 1,83c	46,9 ± 1,83c	8,24 ± 0,26c	6,31 ± 0,37b
F	1017,02	1132,90	355,0	549,438
P	0,001	0,001	0,001	0,001

Les valeurs suivies d'une même lettre, dans une même colonne, ne présentent aucune différence significative au seuil de 5% (Test de LSD Fisher)

T0: Témoin non traité

TB: Traitement biologique avec le biopesticide Prolaly

TC: Traitement chimique avec le Callicuire et le K-optimal

4. DISCUSSION

L'analyse de variances a montré que les paramètres agro-morphologiques que sont la hauteur, le nombre de feuilles, la longueur et la largeur des feuilles n'ont présentés aucune différence significative ($p > 0,05$) aux niveaux des différents traitements à 32 JAR. Cependant, pour ces mêmes paramètres, les traitements TB et TC ont présenté des résultats statistiquement différents de ceux obtenus avec le traitement T0 à 75 JAR. Cette différence significative pourrait s'expliquer par un retard de croissance des plants non traités lié à la maladie virale qui a présenté une incidence de 100 % au niveau du traitement T0. Des travaux ont ainsi montré qu'après transmission, le virus est localisé le plus souvent dans les tissus de la plante et perturbe sa croissance [12]. La plante prend alors un aspect buissonnant, les folioles s'enroulent, jaunissent et leur taille est réduite.

La détermination des stades phénologiques a permis de noter qu'il n'y a eu aucune différence significative entre les traitements étudiés. Les stades phénologiques ont évolué indépendamment des traitements appliqués. Il se pourrait que chez la tomate, ces paramètres ne soient pas influençables par des facteurs extérieurs tels que les traitements observés et les maladies. Ces résultats corroborent ceux des références [13] et [14], qui ont montré que chez certaines variétés de piment et de tomate, les paramètres phénologiques à savoir le délai de 50 % de floraison et le délai de production sont invariables malgré les effets de différents facteurs extérieurs.

Le suivi de l'évolution des insectes ravageurs a montré que contrairement aux traitements TC et TB, le nombre d'insectes ravageurs et plus particulièrement d'aleurode, d'*Helicoverpa armigera* et de *Spodoptera littoralis* a été plus élevé sur les parcelles non traitées. Cela pourrait s'expliquer par l'action protectrice exercée par les traitements effectués. Ces résultats confirment les travaux de la référence [15] qui a montré l'efficacité des extraits de plantes et des traitements chimiques sur les chenilles ravageuses du gombo.

Des différences d'incidences ont été observées entre les traitements T0, TB et TC aussi bien pour la maladie virale que pour la maladie fongique. Ces différences d'incidence entre les traitements pourraient s'expliquer d'une part par l'action du biopesticide et du traitement chimique qui ont contribué significativement à réduire indirectement l'incidence de la maladie virale sur les parcelles traitées en réduisant le nombre moyen d'aleurodes par feuille. Ces résultats confirment ceux de la référence [16] qui a mis en évidence l'effet biocide de l'huile essentielle des espèces *Ocimum gratissimum* et *O. basilicum* (Lamiaceae) sur des pucerons et lépidoptères des cultures maraîchères. Concernant la pourriture du collet, la faible incidence de la maladie fongique sur les parcelles traitées s'explique aussi par l'action des traitements appliqués qui ont inhibé l'impact des agents fongiques.

Relativement à la qualité de la production, le résultat obtenu montre une différence significative entre le taux de fruits avariés d'un traitement à un autre. Le taux de fruits avariés était plus élevé au niveau des plants non traités (70 %). Ce pourcentage élevé de fruits avariés serait dû aux dégâts causés par les ravageurs et maladies de la tomate. Ainsi, la majorité des avaries de fruits en culture de tomate seraient dû à l'effet des maladies et ravageurs [17]. Aussi, les dégâts liés au virus de l'enroulement des feuilles en cuillère peuvent être de 50 à 70 % si l'attaque est tardive [18]. Les récoltes sont presque nulles lorsque le virus est transmis avant la floraison [19].

La différence significative observée entre les traitements en ce qui concerne le rendement brut et le rendement net montre que les traitements biologique (TB) et chimique (TC) ont obtenu les meilleurs rendements nets par rapport au traitement T0. Ces rendements sont respectivement de 6,15t/ha et de 6,31t/ha. Ces traitements ont amélioré la productivité de la tomate au cours de cette expérimentation. Cette amélioration pourrait s'expliquer par l'efficacité de l'extrait d'huile végétale à base de citronnelle et le traitement chimique à lutter contre les ravageurs et maladies.

5. CONCLUSION

Au terme de cette étude, il convient d'abord de noter que les plants traités avec le produit biologique ont présenté une bonne croissance durant la période de l'expérimentation. Les résultats obtenus ont montré que contrairement aux plants non traités, les plants de tomates traités avec cet extrait d'huile végétal ont eu un développement et une croissance similaire du point de vue statistique avec les plants des parcelles ayant reçu des applications de pesticides chimiques. Ensuite, il faut aussi relever que le traitement biologique a permis de limiter le nombre moyen d'insectes ravageurs par plant et aussi l'incidence des maladies. En effet, le biopesticide utilisé a permis de réduire les populations d'aleurodes, de larves de *Spodoptera littoralis* et d'*Helicoverpa armigera* sur les feuilles et limiter la sévérité des symptômes à 1,4 et 2,8 % respectivement pour les maladies fongique et virale. Enfin, les résultats ont montré que les parcelles traitées avec le biopesticide ont présenté le taux de fruits sains le plus élevé (56,34%) et un rendement de 6,15t/ha statistiquement identique à celui du traitement chimique qui est de 6,31 t/ha. Cette étude ouvre ainsi la voie pour la gestion écologique des maladies et des insectes ravageurs des cultures maraîchères en Côte d'Ivoire par l'usage des extraits de plantes.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements à l'endroit des autorités du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA); notamment celles de la Station de Recherche sur les Cultures Vivrières à Bouaké pour avoir mis à notre disposition des parcelles pour la mise en place de l'expérimentation. Nos remerciements également à M. KANATE Issouf, Technicien Supérieur et M. KOUASSI Kouakou, Ouvrier spécialisé, tous deux au Programme Cultures Maraîchères et Protéagineuses de la Station de Recherche sur les Cultures Vivrières et M. DANHI Mahé Ives-Frégis, stagiaire à ladite station, pour la mise en place de l'essai.

REFERENCES

- [1] N. Shankara, v L. J. Joep, G. Marja, H. Martin et v D. Barbara, "La culture de la tomate production, transformation et commercialisation", Agromisa, Agrodok 17, pp. 19-107, 2005.
- [2] FAO. "Fruits et légumes – éléments essentiels de ton alimentation. Année internationale des fruits et des légumes", Note d'information. Rome, <https://doi.org/10.4060/cb2395fr>, 94 p. 2021.
- [3] S. Soro, M. Doumbia, D. Dao, A. Tschannen et O. Girardin, "Performance de six cultivars de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. contre la jaunisse en cuillère des feuilles, le flétrissement bactérien et les nématodes à galles", Sciences & Nature, vol.4, no.2, pp. 123-130, 2007.
- [4] FIRCA, "Contribution du FIRCA à la mise en œuvre des programmes de la Filière Légumes" [En ligne] <https://firca.ci/pdfa-2/legumes/>, (Page consulté le 10/10/2020).
- [5] A. Sangaré, E. Koffi, F. Akamou et C. A. Fall, "État des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture: Second rapport national", 65 p., 2009.
- [6] N. Ranc, "Analyse du polymorphisme moléculaire de gènes de composantes de la qualité des fruits dans les ressources génétiques sauvages et cultivées de tomate; recherche d'associations gènes/QTL". Thèse de Doctorat Montpellier (France), pp 20-24, 2010.
- [7] CORAF, "Innover pour la croissance et le développement inclusif dans l'agriculture régionale", Rapport annuel du CORAF/WECARD, 66 p., 2015.
- [8] G. Soro, S. A. Wahabi, O. A. Adjiri, N. Soro, "Risques sanitaires et environnementaux liés à l'usage des produits phytosanitaires dans l'horticulture à Azaguié (Sud Côte d'Ivoire)", Journal of Applied Biosciences, vol. 138, pp. 14072-14081, 2019.
- [9] G. Soro, N.M. Koffi, B. Kone, Y.E. Kouakou, K.R. M'bra, P.D. Soro et N. Soro, "Utilisation des produits phytosanitaires dans le maraîchage autour du barrage d'alimentation en eau potable de la ville de Korhogo (nord de la Cote d'Ivoire: risques pour la santé publique", Environnement, Risques & Santé, vol. 17, no 2, pp.155-163, 2018.
- [10] J.C. N'Zi, C. Kouame, A. S. P. N'guatta, L. Fondio, A.H. Djidji et A. Sangare, "Evolution des populations de *Bemisia tabaci* Genn. Selon les variétés de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) au Centre de la Côte d'Ivoire", Sciences & Nature, vol.7, no 1, pp. 31-40, 2010.
- [11] B. Coupat-Goutaland, D. Bernillon, A. Guidot, P. Prior, X. Nesme et F. Bertolla, "Ralstonia solanacearum virulence increased following large interstrain gene transfers by natural transformation", Molecular Plant-Microbe Interactions, vol. 24, no 4, pp 497-505, 2011.
- [12] E. Moriones et J. Navas-Castillo, "Tomato yellow leaf curl virus, an emerging virus complex causing epidemics worldwide", Virus Research, vol. 71, no 1-2, pp.123-134, 2000.

- [13] S. Ben Mansour-Gueddes, N. Tarchoun, JM. Teixeira da Silva et S. Saguem, "Agronomic and chemical evaluation of seven hot pepper (*Capsicum annum* L.) populations grown in an open field". *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, vol. 4, pp. 93-97, 2010.
- [14] L. Fondio, J.C. N'zi et K. Kobenan, "Comportement agronomique et sanitaire de nouvelles lignées de piment dans le Sud de la Côte d'Ivoire", *Journal of Applied Biosciences*, vol. 92, pp. 8594-8609, 2015.
- [15] J. A. GNAGO, M. DANHO, T. ATCHAM AGNEROH, I. K. FOFANA et A. G. KOHOU, "Efficacité des extraits de neem (*Azadiracta indica*) et de papayer (*Carica papaya*) dans la lutte contre les insectes ravageurs du gombo (*Abelmoschus esculentus*) et du chou en Côte d'Ivoire", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 4, no 4, pp. 953-966, 2010.
- [16] B. B. YAROU, "Bioefficacité d'*Ocimum* spp. (Lamiaceae) pour une gestion intégrée des ravageurs en cultures maraîchères", Thèse de Doctorat, Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech, Belgique, 141 p., 2018.
- [17] L. FONDIO, H. A. DJIDJI, F. P. M. N'GBESSO et D. KONE, "Evaluation de neuf variétés de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) par rapport au flétrissement bactérien et à la productivité dans le Sud de la Côte d'Ivoire", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 7, no 3, pp. 1078-1086, 2013.
- [18] H. Laterrot, "Sélection en réseau pour la création de tomates résistantes au virus de tomato yellow leaf curl (TYLCV)", *Fruits*, vol. 50, no 6, pp. 478-480, 1995.
- [19] M. C. Rebolledo, "Identification de la gestion du problème Bemisia/TYLCV en Catalogne Espagnole: Travail exploratoire", Master Sciences et Technologies du Vivant, AgroParisTech. France, 24 p., 2007.