

Evaluation de l'effet insectifuge des vinaigres de bois sur les performances agronomiques de la tomate en Côte d'Ivoire

Bobelé Florence NIAMKE^{1*},
Hakim Abdel Aziz OUATTARA¹,
Jean Louis Lepetit N'GUESSAN¹,
Mandji Eliane Marie Frédéric AHOKE¹

Résumé

En Côte d'Ivoire, la culture de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est soumise à de fortes pressions parasitaires, conduisant à un recours intensif aux insecticides de synthèse. Bien qu'efficaces, ces produits posent des risques environnementaux et sanitaires, justifiant la recherche d'alternatives durables. Cette étude a évalué l'efficacité des vinaigres de bois en tant qu'insectifuges et biostimulants en conditions de plein champ à Yamoussoukro. Deux vinaigres de bois (V1 et V2) ont été appliqués à trois dilutions (1 :100, 1 :200 et 1 :300) et comparés à un insecticide de synthèse (K-Optimal 35 EC) et à un témoin non traité. Les résultats montrent que V2 à la dilution 1:100 a totalement supprimé les attaques d'insectes (0,00 %), avec une efficacité comparable à celle de l'insecticide chimique. Par ailleurs, V2 aux dilutions 1:200 et 1:300 a significativement amélioré la croissance végétative, notamment le diamètre au collet (13,56 mm) et la surface foliaire (1453,79 cm²), révélant un effet biostimulant marqué. Les traitements à base de vinaigres de bois ont permis de doubler le rendement par rapport au témoin non traité (14,17 à 19,54 t/ha contre 7,62 t/ha), bien que ces valeurs restent inférieures à celles obtenues avec K-Optimal (32,92 t/ha). En revanche, les vinaigres de bois ont significativement prolongé la durée de conservation post-récolte des fruits (21 à 25 jours), comparativement au témoin (7 jours) et à l'insecticide de synthèse (15 jours). Ces résultats confirment le potentiel des vinaigres de bois comme intrants agroécologiques prometteurs, dont l'efficacité dépend étroitement de la concentration et des modalités d'application.

Mots-clés : Vinaigre de bois, tomate, insectifuge, biostimulant, durabilité

¹ Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse, Environnementaux et des Energies Nouvelles (LAPISEN), Institut Nationale Polytechnique Félix Houphouët Boigny, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

***Auteur correspondant :** Bobelé Florence NIAMKE, Email : bobele.niamke@inphb.ci
ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-7352-4364>

Evaluation of the insect-repellent effect of wood vinegar on the agronomic performance of tomato in Côte d'Ivoire

Abstract

In Côte d'Ivoire, tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation is subject to high pest pressure, leading to intensive use of synthetic insecticides. Although effective, these products raise environmental and health concerns, thereby justifying the search for sustainable alternatives. This study evaluated the effectiveness of wood vinegars as insect-repellent agents and biostimulants under open-field conditions in Yamoussoukro. Two wood vinegars (V1 and V2) were applied at three dilutions (1:100, 1:200, and 1:300) and compared with a synthetic insecticide (K-Optimal 35 EC) and an untreated control. The results showed that V2 at the 1:100 dilution completely suppressed insect attacks (0.00%), with an efficacy comparable to that of the chemical insecticide. In addition, V2 at the 1:200 and 1:300 dilutions significantly improved vegetative growth, particularly collar diameter (13.56 mm) and leaf area (1453.79 cm²), indicating a marked biostimulant effect. Treatments with wood vinegars doubled tomato yield compared with the untreated control (14.17–19.54 t/ha versus 7.62 t/ha), although yields remained lower than those obtained with K-Optimal (32.92 t/ha). Conversely, wood vinegars significantly extended the post-harvest shelf life of fruits (21–25 days), compared with the control (7 days) and the synthetic insecticide (15 days). These findings confirm the potential of wood vinegars as promising agroecological inputs, whose effectiveness is closely dependent on concentration and application practices.

Keywords: Wood vinegar, tomato, insect repellent, biostimulant, sustainability

Introduction

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) constitue l'une des principales cultures maraîchères en Côte d'Ivoire, jouant un rôle stratégique à la fois dans la sécurité alimentaire des populations et dans l'économie vivrière. Sa richesse en vitamines, minéraux et antioxydants en fait une denrée essentielle dans l'alimentation urbaine et rurale (FAO, 2021). Toutefois, la culture de la tomate en plein champ demeure fortement menacée par divers stress biotiques, en particulier les attaques d'insectes ravageurs, responsables de pertes de rendement pouvant dépasser 80 % (ADHIKARI *et al.*, 2017 ; OSEI *et al.*, 2025). Les principaux nuisibles recensés incluent *Helicoverpa armigera*, *Tuta absoluta*, *Bemisia tabaci* ainsi que plusieurs coléoptères, qui compromettent la croissance et la qualité de la production (AYNALEM, 2018 ; POUDEL et KAFLE, 2021).

Pour lutter contre ces contraintes, les producteurs recourent massivement aux insecticides de synthèse. Si leur efficacité est reconnue, leur usage intensif et souvent inapproprié engendre

d'importantes externalités négatives. On pourrait noter la pollution et dégradation des sols, l'atteinte à la biodiversité utile, la contamination de la chaîne alimentaire ainsi que des risques sanitaires pour les populations (AKTAR *et al.*, 2009 ; MEDA *et al.*, 2022). Ces défis interpellent à la fois la recherche agronomique et les politiques agricoles dans le cadre des axes d'amélioration variétale et de santé des plantes (Axe 1), de protection de l'environnement et de gestion durable des ressources naturelles (Axe 3), de promotion d'une production durable et de la santé des sols (Axe 4) ainsi que d'adaptation aux changements climatiques et de valorisation des chaînes agricoles (Axe 6).

Dans cette perspective, l'attention se tourne vers des alternatives naturelles et écologiques. Les vinaigres de bois, ou acides pyroligneux, apparaissent comme une piste prometteuse. Issus de la condensation des fumées de carbonisation du bois, ils sont composés à près de 90 % d'eau et d'un mélange complexe de molécules organiques tels que les aldéhydes, les alcools, les esters, les dérivés du furane et du pyrane, les hydrocarbures, les cétones, les acides organiques et les composés phénoliques (DE SOUZA ARAUJO *et al.*, 2018 ; MANSUR *et al.*, 2013 ; SOUZA *et al.*, 2012 ; YOUNG-HEE *et al.*, 2005). Cette diversité chimique leur confère des propriétés insectifuges et fongistatiques (BAIMARK et NIAMSA, 2009 ; MMOJIEJE et HORNUNG, 2015 ; OUATTARA *et al.*, 2023), ouvrant la voie à leur utilisation dans un contexte d'agriculture durable.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer l'effet insectifuge des vinaigres de bois sur les performances agronomiques de la tomate cultivée en plein champ en Côte d'Ivoire, afin de contribuer à la promotion de pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement, de la santé des sols et de la durabilité des systèmes de production.

1. Matériel et méthodes

1.1. Site d'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée sur le site nord de la ferme expérimentale de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro. Les travaux se sont déroulés sur une parcelle de 500 m², située en bordure du lac, soigneusement défrichée de manière manuelle. Ce site est géographiquement

positionné aux coordonnées 6°53'17,43" Nord de latitude et - 5°13'17,50" Ouest de longitude. L'expérience s'est étendue de mi-avril à mi-juillet 2024, durant la grande saison des pluies. Pendant cette période, les conditions climatiques ont révélé des moyennes de températures oscillant entre 32 °C en matinée et 22,5 °C en soirée, ainsi qu'une humidité relative de 60 %.

1.2. Production des extraits naturels utilisés

Les extraits naturels utilisés étaient des vinaigres de bois. C'était au total, deux vinaigres de bois qui ont été collectés à l'aide d'une meule Casamance en Côte d'Ivoire, sur le site de formation à la production de charbon de bois de N'gokro (NITIDAE, 2019), dans le département d'Alepé, dans la région de Mé, à 3°38'24" de longitude ouest et 5°21'17" de latitude nord. Les différents morceaux de bois ont été empilés les uns sur les autres dans la chambre de carbonisation. L'allumage a été réalisé à l'aide de braises. Le four a été surveillé pendant plusieurs jours (7 à 12 jours) à une température interne comprise entre 380 et 500 °C. Les échantillons de liquide pyroligneux obtenus ont été stockés pendant plus de 12 mois dans des bouteilles de 25 litres à l'abri de la lumière. Après décantation du liquide pyroligneux, trois phases ont été obtenues : une fine pellicule huileuse à la surface du liquide, du vinaigre de bois dans la phase intermédiaire et du goudron de bois au fond du récipient. Les vinaigres de bois obtenus ont été purifiés par centrifugation et filtration à plusieurs reprises afin d'obtenir des solutions stables et transparentes, comme recommandé dans la littérature (FAGERNÄS *et al.*, 2012 ; WADA, 1997). Les détails concernant la composition des essences de bois, la technique et la durée de carbonisation, la teneur en humidité du bois, etc. sont présentés dans le tableau I.

1.3. Matériel végétal

La variété de tomate utilisée pour l'expérimentation était la variété COBRA F1 26. Cette variété se distingue par son rendement élevé, sa résistance aux maladies fréquentes (fusariose, verticilliose, virus de la mosaïque), et sa tolérance aux stress abiotiques tels que la sécheresse et la chaleur. Ses fruits, uniformes, rouges vifs, et durables après récolte, conviennent autant à la consommation fraîche qu'à la transformation industrielle. Elle offre une production précoce et prolongée, avec des plants robustes adaptés à divers sols et climats. Rentable et économiquement viable grâce à sa faible dépendance aux intrants,

COBRA F1 26 est un choix optimal pour maximiser les résultats des cultures sur terrain.

Tableau I: Détails sur le four et le bois utilisés pour produire les extraits pyroligneux (Ouattara et al. 2024)

Paramètres	Four 1	Four 2
Volume de la meule	22 stères	17 stères
Masse de bois	5 440 kg	11 079 kg
Teneur en humidité du bois	23 %	25 %
Rendement en extraits pyroligneux	25 %	25 %
Durée de carbonisation	7 jours	12 jours
Espèces utilisées	<i>Cola nitidae</i> (Colatier) <i>Terminalia ivorensis</i> (Framiré) <i>Hevea brasiliensis</i> (Hévéa/caoutchouc) <i>Acacia mangium</i> (Acacia) <i>Petersianthus macrocarpus</i> (Abale)	<i>Cola nitidae</i> (Colatier) <i>Hevea brasiliensis</i> (Hévéa) <i>Piptadeniastrum africanum</i> (Dabema)
Extraits pyroligneux obtenus	Vinaigre de cocktail de bois (V1)	Vinaigre de cocktail de bois (V2)

1.4. Dispositif expérimental

La parcelle expérimentale était composée de blocs complètement randomisés. Elle s’étendait sur une superficie totale d’environ 250 m², subdivisée en vingt-quatre (24) parcelles élémentaires de 4 m² (2,5 m × 1,6 m) chacune. Les espacements entre les parcelles élémentaires étaient de 0,5 m. Dans chaque parcelle élémentaire, douze (12) plants de tomate ont été repiqués avec un espacement d’environ 40 cm entre eux. Le tout a été effectué en ligne à raison de trois (3) lignes de 4 plants par parcelle élémentaire. Ce fût un total de 288 plants de tomate repiqués sur l’étendue de la surface expérimentale. Plusieurs sarclages ont été effectués à des fréquences de deux semaines pour faciliter la croissance des plantes. Le schéma présenté par la figure 1 illustre ce dit dispositif expérimentale.

1.5. Application des traitements

Divers traitements ont été effectués au cours de l'expérimentation. Le produit de référence (K-Optimal 35EC, CALLIVOIRE, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire) a été appliqué en une seule dose de 50 mL par pulvérisateur contenant 15 litres d'eau. Les deux extraits pyroligneux V1 et V2 ont été utilisés comme bioproduit à trois concentrations volumiques chacun notamment 1:100, 1:200 et 1:300 (Figure 2A et Figure 2B). Un traitement témoin (TNT) constitué d'eau exempt de tout produit a également été utilisé. Ainsi, l'étude comprenait huit traitements désignés comme suit : PR, V1(1:100), V1(1:200), V1(1:300), V2(1:100), V2(1:200), V2(1:300) et TNT. Ces traitements ont été appliqués dès les premières infestations d'insectes à raison de trois sous parcelles par traitement. C'était en tout trois (3) traitements qui furent appliqués à une fréquence d'environ 14 jours.

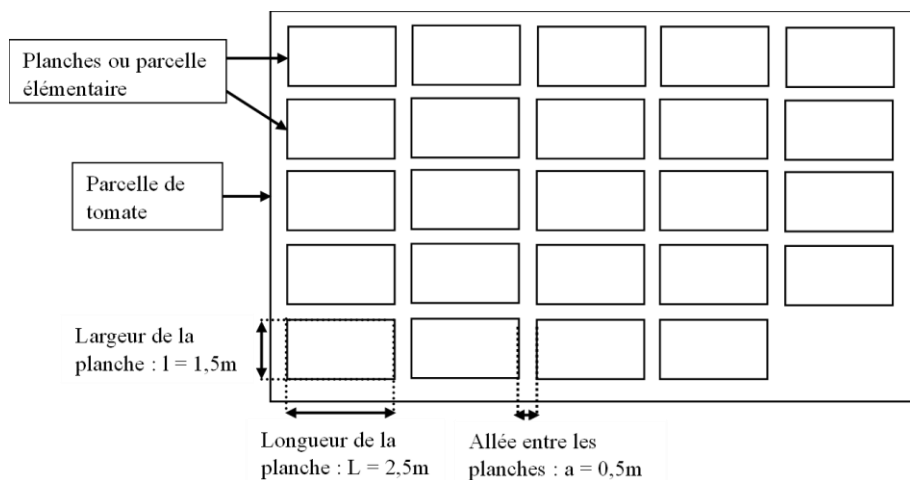


Figure 1 : Plan du dispositif expérimental de la tomate



Figure 2 : Vinaigres de cocktail de bois dilués A) V1 (1:100, 1:200, 1:300); B) V2 (1:100, 1:200, 1:300) utilisés pour les traitements

1.6. Paramètres agronomiques

La tomate, du fait de son cycle court et de sa sensibilité aux manipulations, a nécessité une collecte des données tôt le matin afin de limiter les risques de contamination. Chaque sous-parcelle comptait 12 plants, mais seuls ceux du centre ont été échantillonnés pour réduire les effets de bordure. Les observations ont été réalisées à la maturation. Le taux d'attaque par les insectes a été calculé par planche en rapportant le nombre de plants affectés au nombre total de plants observés (Equation 1). La surface foliaire a été estimée à partir de la longueur et de la largeur des feuilles (Equation 2). D'autres paramètres, tels que la durée d'efficacité et le diamètre au collet ont également été relevés. Les mesures ont porté sur 8 plants centraux, permettant d'obtenir une moyenne représentative. À la récolte, le poids des fruits sains par pied a servi à déterminer le rendement par tige (Equation 3). Toutes les observations ont été réalisées en quatre répétitions pour assurer la robustesse des résultats.

$$\text{ATQ (\%)} = \frac{\text{Nombre de plants attaqués}}{\text{Nombre total de plants}} \times 100$$

(1)

Avec, ATQ, taux d'attaque infesté par les insectes par planche.

$$\text{SF (cm}^2\text{)} = L_f \times l_f$$

(2)

Avec, SF, Surface foliaire en cm^2 , L_f , la longueur de feuille en cm et l_f , la largeur de feuille en cm.

$$\text{Rdt (kg/ha)} = \frac{M_f}{Sp} \times 10.000$$

(3)

Avec, Rdt, le rendement en kilogramme par hectare, M_f : Masse de fruit récoltée sur une planche en kg, Sp , la surface d'une planche en m^2 .

1.7. Analyse statistique

Le logiciel SPSS 16.0 a été utilisé comme outil statistique. L'analyse des données a été réalisée par analyse de variance (ANOVA) sur l'ensemble des résultats. Un test post-hoc a permis de comparer les moyennes selon le test de Duncan. L'ensemble des résultats a été évalué au seuil de signification de 5 %.

2. Résultats et discussion

2.1. Effet des traitements sur le taux d’attaque, le diamètre au collet et la surface foliaire.

Les résultats consignés dans le tableau II montrent que les différents traitements à base de vinaigres de bois ont eu un effet significatif ($P < 0,05$) sur le taux d’attaque par les insectes, le diamètre au collet et la surface foliaire des plants de tomate au 46e jour après repiquage.

Tableau II: Effet des traitements sur le taux d’attaque, le diamètre au collet et la surface foliaire de la tomate.

Traitements	Taux d’attaque d’insecte (%)	Diamètre au collet (mm)	Surface foliaire (cm²)
V1 (1:100)	08,33 ± 7,21 ^{ab}	12,67 ± 1,20 ^{bc}	1245,74 ± 295,69 ^{cd}
V1 (1:200)	29,17 ± 7,21 ^c	10,78 ± 1,58 ^{ab}	944,52 ± 30,31 ^{ab}
V1 (1:300)	33,33 ± 7,21 ^c	10,56 ± 1,02 ^{ab}	931,30 ± 30,01 ^{ab}
V2 (1:100)	00,00 ± 0,00 ^a	11,89 ± 0,51 ^{bc}	1040,40 ± 88,47 ^{abc}
V2 (1:200)	12,50 ± 0,00 ^b	13,56 ± 1,39 ^c	1149,37 ± 239,98 ^{bc}
V2 (1:300)	12,50 ± 0,00 ^b	11,56 ± 1,07 ^{bc}	1453,79 ± 190,09 ^d
TNT	50,00 ± 12,50 ^d	09,11 ± 0,96 ^a	786,22 ± 71,66 ^a
TR (K-Optimal)	00,00 ± 0,00 ^a	10,89 ± 0,96 ^{ab}	1252,41 ± 56,99 ^{cd}

Les valeurs sont les moyennes de trois déterminations ± Écart type pour chaque paramètre. Les valeurs d’une même colonne affectées de la même lettre alphabétique ne sont pas significativement différentes entre elles d’après le test de comparaison multiple de Duncan au seuil de 5 %. JAR : Jour après repiquage. V (1 : Y) : Vinaigre de cocktail de bois dilué Y fois. TNT : Témoin non traité. TR : Témoin de référence.

Concernant les attaques d’insectes, les traitements V2 (1:100) et le témoin de référence (K-Optimal) se sont révélés les plus efficaces, réduisant totalement les attaques ($0,00 \pm 0,00$ %) comparativement au témoin non traité ($50,00 \pm 12,50$ %). Le traitement V1 (1:100) a également montré une efficacité notable ($8,33 \pm 7,21$ %). Ces résultats confirment l’effet répulsif et insecticide potentiel des extraits pyroligneux, probablement en raison de la présence de composés bioactifs tels que l’acide acétique, les phénols et les esters. Des études antérieures ont démontré que le vinaigre de bois peut induire des mortalités importantes chez divers insectes ravageurs : par exemple, 97 % chez le charançon du riz (PRIANTO *et al.*, 2022 ; OTHMAN *et al.*, 2023), plus de 90 % contre *Myzus persicae* et *Tetranychus urticae* (MMOJIEJE et HORNUNG 2015), et jusqu’à 95 % de réduction des pucerons sur l’aubergine (REGNAULT-ROGER, 1997). Ces effets sont comparables à ceux observés avec certains insecticides de synthèse, confirmant l’intérêt des vinaigres de bois comme alternative écologique (SILVA *et al.*, 2021 ; IACOMINO *et al.*, 2024).

Le diamètre au collet constitue un indicateur de vigueur et de stabilité physiologique des plants. Les traitements à base de vinaigre, notamment V2 (1:200) avec $13,56 \pm 1,39$ mm, ont permis une augmentation significative du diamètre par rapport au témoin non traité ($9,11 \pm 0,96$ mm). Cela suggère un rôle biostimulant des extraits pyroligneux, probablement lié à la présence d'acides organiques et de régulateurs de croissance tels que les karrikins. Plusieurs travaux ont montré que le vinaigre de bois stimule la croissance des cultures, y compris la tomate (KULKARNI *et al.*, 2007, 2008 ; MUNGKUNKAMCHAO *et al.*, 2013). Selon RICK (2010), des dilutions de 1:500 à 1:1000 sont généralement recommandées pour améliorer la croissance, mais nos résultats indiquent qu'une concentration intermédiaire (1:200) a été plus efficace, sans doute en raison de la composition particulière des vinaigres testés.

Enfin, pour la surface foliaire, le traitement V2 (1:300) a produit la valeur la plus élevée ($1453,79 \pm 190,09$ cm²), surpassant le témoin de référence ($1252,41 \pm 56,99$ cm²) et nettement supérieure à celle du témoin non traité ($786,22 \pm 71,66$ cm²). Une surface foliaire plus importante traduit une capacité photosynthétique accrue, ce qui améliore la production de biomasse et le rendement potentiel. Les résultats obtenus rejoignent ceux de KULKARNI *et al.* (2007, 2008), qui ont rapporté une augmentation de la biomasse aérienne et de la ramification avec l'application de vinaigres de bois. De plus, SINGH *et al.* (2023) ont suggéré que des composés spécifiques de la fumée liquide, tels que la karrikinolide, pourraient jouer un rôle dans ce processus.

Dans l'ensemble, l'étude montre que les traitements à base de vinaigre de bois, en particulier V2 (1:100 à 1:300), rivalisent avec l'efficacité du produit de référence K-Optimal sur les paramètres étudiés. Cela confirme le potentiel du vinaigre de bois comme biopesticide et biostimulant naturel, offrant une alternative durable aux intrants chimiques pour la culture de la tomate.

2.2. Rendement, temps d'efficacité, temps de conservation

Les résultats regroupés dans le tableau III montrent que les traitements appliqués ont eu des effets significatifs ($P < 0,05$) sur le rendement des tomates, tandis qu'aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée entre les vinaigres de bois pour le temps d'efficacité, la durée de conservation et le taux d'humidité des fruits.

Tableau III : Rendement, temps d'efficacité, temps de conservation et l'humidité de la tomate en fonction des traitements

	Rendement (t/ha)	Temps d'efficacité (jours)	Temps de conservation (Jours)
V1 (1:100)	19,54 ± 3,65 ^b	15,00 ± 1,00 ^a	23,00 ± 1,00 ^c
V1 (1:200)	14,88 ± 1,83 ^{ab}	14,66 ± 1,52 ^a	23,00 ± 2,00 ^c
V1 (1:300)	15,23 ± 4,87 ^{ab}	14,33 ± 1,15 ^a	21,00 ± 2,00 ^c
V2 (1:100)	18,25 ± 1,76 ^b	16,00 ± 0,00 ^a	25,00 ± 1,00 ^c
V2 (1:200)	16,56 ± 8,35 ^b	14,66 ± 0,58 ^a	24,00 ± 2,00 ^c
V2 (1:300)	14,17 ± 4,17 ^{ab}	14,66 ± 0,58 ^a	23,00 ± 1,00 ^c
TNT	7,62 ± 0,88 ^a	-	7,00 ± 1,00 ^a
TR (K-optimal)	32,92 ± 2,48 ^c	21,33 ± 1,53 ^b	15,00 ± 2,00 ^b

Les valeurs sont les moyennes de trois déterminations ± Écart type pour chaque paramètre. Les valeurs d'une même colonne affectées de la même lettre alphabétique ne sont pas significativement différentes entre elles d'après le test de comparaison multiple de Duncan au seuil de 5 %. V (1 : Y) : Vinaigre de cocktail de bois dilué Y fois. TNT : Témoin non traité. TR : Témoin de référence.

En ce qui concerne le rendement, les tomates non traitées ont enregistré la plus faible valeur ($7,62 \pm 0,88$ t/ha), traduisant la forte pression des insectes et l'absence de protection contre les ravageurs. Les traitements aux vinaigres de bois ont permis de doubler ce rendement, atteignant entre $14,17 \pm 4,17$ t/ha et $19,54 \pm 3,65$ t/ha. Toutefois, le produit de référence (K-Optimal) reste le plus performant avec un rendement de $32,92 \pm 2,48$ t/ha, soit environ quatre fois supérieur au témoin non traité et 1,5 fois plus élevé que le meilleur traitement à base de vinaigre. Cette amélioration observée avec les vinaigres de bois peut être attribuée à leurs composés bioactifs (acides organiques, phénols, furfurals, aldéhydes) connus pour leurs propriétés insecticides, antifongiques et répulsives (GREWAL *et al.*, 2018 ; PRIANTO *et al.*, 2022 ; URRUTIA *et al.*, 2022 ; OTHMAN *et al.*, 2023). En réduisant les pertes dues aux insectes, ces composés favorisent une photosynthèse plus efficace, une meilleure pollinisation et une mise à fruit optimisée, comme cela a été rapporté dans d'autres études sur l'usage du vinaigre de bois et des biostimulants naturels (MUNGKUNKAMCHAO *et al.*, 2013 ; YAKHIN *et al.*, 2017 ; SUN *et al.*, 2021 ; ZHU *et al.*, 2021).

Le temps d'efficacité constitue un paramètre clé dans l'évaluation des insecticides. Les vinaigres de bois ont montré une persistance moyenne de 14 à 16 jours, nettement inférieure à celle du K-Optimal ($21,33 \pm 1,53$ jours). Cette différence pourrait être liée à la plus faible stabilité chimique des composés naturels, facilement dégradés par les conditions environnementales (lumière, chaleur, humidité), contrairement aux formulations synthétiques plus persistantes (GLOBAL MARKET INSIGHTS INC., 2023 ; MORDOR INTELLIGENCE, 2024).

Toutefois, ce temps d'efficacité plus court peut être compensé par des applications régulières, intégrées à un itinéraire technique agroécologique.

En revanche, un avantage majeur des traitements naturels réside dans la prolongation de la durée de conservation des fruits. Les tomates traitées avec les vinaigres de bois ont pu être conservées entre 21 et 25 jours après récolte, soit près de trois fois plus longtemps que les fruits non traités (7 jours) et 1,5 fois plus longtemps que ceux issus du traitement de référence (15 jours). Ce résultat est cohérent avec les propriétés antimicrobiennes et légèrement desséchantes du vinaigre de bois, qui limitent la prolifération des micro-organismes responsables de la dégradation post-récolte (MATTOS *et al.*, 2019 ; FAN *et al.*, 2022 ; RAY *et al.*, 2022). Par ailleurs, la réduction de la teneur en humidité observée dans les fruits traités pourrait contribuer à ce rallongement de la durée de conservation, en freinant le développement des moisissures et bactéries responsables de la détérioration rapide des tomates fraîches.

En définitive, bien que le produit de synthèse K-Optimal se distingue par son rendement et sa durée d'efficacité supérieurs, son usage reste limité par ses impacts environnementaux et le risque de résistance des ravageurs à long terme. À l'inverse, les traitements à base de vinaigres de bois se révèlent être des alternatives prometteuses, alliant des rendements améliorés par rapport au témoin non traité, une meilleure qualité post-récolte des fruits et une durée de conservation significativement prolongée. Ces résultats confirment le potentiel du vinaigre de bois comme intrant agroécologique polyvalent, contribuant à la réduction des pesticides de synthèse et à la durabilité des systèmes de production maraîchers.

Conclusion

Les résultats de cette étude mettent en évidence le double rôle du vinaigre de bois en tant que biopesticide et biostimulant naturel dans la culture de la tomate. Les traitements à base de vinaigres, en particulier V2 aux dilutions 1:100 à 1:300, se sont révélés efficaces pour réduire significativement les attaques d'insectes, améliorer la vigueur des plants (diamètre au collet, surface foliaire) et accroître le rendement par rapport au témoin non traité. Bien que l'insecticide de référence K-Optimal demeure plus performant en termes de rendement et de durée d'efficacité, les vinaigres de bois présentent des avantages notables, notamment une meilleure qualité post-récolte et une conservation prolongée des fruits. Ces propriétés, attribuées à la richesse en

composés bioactifs tels que les acides organiques, phénols et furfurals, positionnent le vinaigre de bois comme une alternative écologique et polyvalente aux intrants chimiques. Ainsi, son intégration dans les itinéraires techniques agroécologiques pourrait contribuer à la durabilité des systèmes de production maraîchers, tout en réduisant la dépendance aux pesticides de synthèse.

Conflit d'intérêt

Tous les auteurs déclarent aucun conflit d'intérêt

Contribution des auteurs

BFN a conçu et planifié l'étude, procédé à la relecture critique et à la révision du manuscrit et assuré la supervision scientifique du travail. **HAAO** et **JLLN** ont conduit les expérimentations au champ et assuré la collecte des données, réalisé les analyses statistiques et rédigé la première version du manuscrit. **MEMFA** a procédé à la relecture critique et à la révision du manuscrit. Tous les auteurs ont lu et approuvé la version finale du manuscrit.

Références bibliographiques

- ADHIKARI P., OH, Y. et PANTHEE, D. R. (2017). Current Status of Early Blight Resistance in Tomato: An Update. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(10), 2019. <https://doi.org/10.3390/ijms18102019>
- AKTAR, M. W., SENGUPTA, D. ET CHOWDHURY, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*, 2(1), 1-12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- AYNALEM, B. (2018). Tomato leafminer [(*Tuta absoluta* Meyrick) (*Lepidoptera: Gelechiidae*)] and its current ecofriendly management strategies: A review. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 10(2), 11-24. <https://doi.org/10.5897/JABSD2018.0306>
- BAIMARK, Y. ET NIAMSA, N. (2009). Study on wood vinegars for use as coagulating and antifungal agents on the production of

- natural rubber sheets. *Biomass and Bioenergy*, 33(6), 994-998.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.04.001>
- DE SOUZA ARAÚJO, E., PIMENTA, A. S., FEIJÓ, F. M. C., CASTRO, R. V. O., FASCIOTTI, M., MONTEIRO, T. V. C. et DE LIMA, K. M. G. (2018). Antibacterial and antifungal activities of pyroligneous acid from wood of *Eucalyptus urograndis* and *Mimosa tenuiflora*. *Journal of Applied Microbiology*, 124(1), 85-96. <https://doi.org/10.1111/jam.13626>
- FAGERNÄS, L., KUOPPALA, E., TIILIKKALA, K. et OASMAA, A. (2012). Chemical Composition of Birch Wood Slow Pyrolysis Products. *Energy & Fuels*, 26(2), 1275-1283. <https://doi.org/10.1021/ef2018836>
- FAN, Q., FAN, X., FU, P., LI, Y., ZHAO, Y. et HUA, D. (2022). Anaerobic digestion of wood vinegar wastewater using domesticated sludge: focusing on the relationship between organic degradation and microbial communities (archaea, bacteria, and fungi). *Bioresource Technology*, 347, 126384. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126384>
- FAO. (2021). *Intégration de la nutrition dans le secteur de la foresterie de la théorie à la pratique*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb6788fr>
- GLOBAL MARKET INSIGHTS INC. (2023). *Vinaigre en bois Part de marché: Rapport d'analyse, 2024-2032*. Global Market Insights Inc. <https://www.gminsights.com/fr/industry-analysis/wood-vinegar-market>
- GREWAL, A., ABBEY, LORD et GUNUPURU, L. R. (2018). Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 135, 152-159.
- IACOMINO, G., IDBELLA, M., STAROPOLI, A., NANNI, B., BERTOLI, T., VINALE, F. et BONANOMI, G. (2024). Exploring the Potential of Wood Vinegar: Chemical Composition and Biological Effects on Crops and Pests. *Agronomy*, 14(1), 114. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010114>
- KULKARNI, M. G., ASCOUGH, G. D. et VAN STADEN, J. (2007). Effects of foliar applications of smoke-water and a smoke-

- isolated butenolide on seedling growth of okra and tomato. *HortScience*, 42(1), 179-182.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.1.179>
- KULKARNI, M. G., ASCOUGH, G. D. et VAN STADEN, J. (2008). Smoke-water and a smoke-isolated butenolide improve growth and yield of tomatoes under greenhouse conditions. *HortTechnology*, 18(3), 449-454.
<https://doi.org/10.21273/HORTTECH.18.3.449>
- MANSUR, D., YOSHIKAWA, T., NORINAGA, K., HAYASHI, J., TAGO, T. et MASUDA, T. (2013). Production of ketones from pyroligneous acid of woody biomass pyrolysis over an iron-oxide catalyst. *Fuel*, 103, 130-134.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.04.003>
- MATTOS, C., VELOSO, M. C. C., ROMEIRO, G. A. et FOLLY, E. (2019). Biocidal applications trends of bio-oils from pyrolysis: Characterization of several conditions and biomass, a review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 139, 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.12.029>
- MEDA, N.-S.-B. R., BANDE, M., KPODA, D. S., MEDA, N. S. D., SAVADOGO, S., NACOULMA, A. P., KANGAMBEGA, T. M. O., COMPAORE, M. K. A., BAZIE, B. S. R., SOURABIE, B. P. O., HIEN, M. H. et KABRE, E. (2022). Pesticide residues in commonly consumed food from five localities of Burkina Faso: occurrence and health risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1), 160.
<https://doi.org/10.1007/s10661-022-10672-x>
- MMOJIEJE, J. et HORNUNG, A. (2015). The Potential Application of Pyroligneous Acid in the UK Agricultural Industry. *Journal of Crop Improvement*, 29(2), 228-246.
<https://doi.org/10.1080/15427528.2014.995328>
- MORDOR INTELLIGENCE. (2024). *Vinaigre de Bois Taille du Marché* | *Mordor Intelligence*.
<https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/wood-vinegar-market>
- MUNGKUNKAMCHAO, T., KESMALA, T., PIMRATCH, S., TOOMSAN, B. et JOTHITYANGKOON, D. (2013). Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia*

- NITIDAE. (2019). *Formation de charbonniers à la carbonisation améliorée dans le cadre du projet REDD+ au Moyen-Ouest*. https://www.nitidae.org/files/1f0b34ea/190702_rapport_format ion_charbonniers_projet_redd_me_.pdf
- OSEI, M. K., OPPONG, A., ADJEBENG-DANQUAH, J., ZOHOUNGBOBO, H. P. F., PREMPEH, R., MELOMEY, L. D., ADOMAKO, J., AGYARE, R. Y., OPOKU, J. A. et ADJEI, E. A. (2025). Production de légumes en Afrique de l'Ouest: les défis des maladies virales et leur gestion. Dans *Les maladies des plantes et leur prise en charge*.
- OTHMAN, N., ELIAS, N. H. et ZAINALABIDIN, N. (2023). Wood Vinegar as an Alternative Insecticide in Controlling Rice Weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, 4(1). <https://doi.org/10.36877/aafjr.a0000315>
- OUATTARA, H. A. A., NIAMKE, F. B., YAO, J. C., AMUSANT, N. et GARNIER, B. (2023). Wood Vinegars: Production Processes, Properties, and Valorization. *Forest Products Journal*, 73(3), 239-249. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-23-00021>
- POUDEL, A. et KAFLE, K. (2021). Tuta absoluta; a devastating pest of tomato: a review. *International Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, 8(5), 193-197. <https://doi.org/10.31033/ijrasb.8.5.29>
- PRIANTO, A. H., YULIZAR, Y. et SIMANJUNTAK, P. (2022). Wood vinegar as a supporting active ingredient and neem oil dispersant in a nanoemulsion system and their bioactivity. *Rasayan Journal of Chemistry*, 15(2). <https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1526881>
- RAY, A., GANGULY, S. et SANKAR, A. (2022). Chapter 23 - Biocides through pyrolytic degradation of biomass: potential, recent advancements and future prospects. Dans A. Rakshit, V. S. Meena, P. C. Abhilash, B. K. Sarma, H. B. Singh, L. Fraceto, M. Parihar et A. K. Singh (dir.), *Biopesticides* (p. 337-352). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823355-9.00025-0>

- REGNAULT-ROGER, C. (1997). The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integrated Pest Management Reviews*, 2, 25-34. <https://doi.org/10.1023/A:1018472227889>
- RICK, B. (2010). *An Introduction to Wood Vinegar*. ECHOcommunity. <https://www.echocommunity.org/resources/01ccd8a8-aa01-44c0-bd61-d62d8206eb26>
- SILVA, A. V., DA SILVA, C. M., OLIVEIRA, M. C., RIBEIRO, A. V. et PÍCANÇO, M. C. (2021). Pyroligneous Acid Controls Aphis craccivora (Hemiptera: Aphididae) and Increases Cowpea [*Vigna unguiculata* (L., Walp)] Productivity. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 79(1), 147-153.
- SINGH, S., UDDIN, M., KHAN, M. M. A., CHISHTI, A. S., SINGH, S. et BHAT, U. H. (2023). The role of plant-derived smoke and karrikinolide in abiotic stress mitigation: An Omic approach. *Plant Stress*, 7, 100147. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100147>
- SOUZA, J. B. G., RE-POPPI, N. et RAPOSO JR., J. L. (2012). Characterization of pyroligneous acid used in agriculture by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23, 610-617. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532012000400005>
- SUN, X., GUO, Y., ZENG, L., LI, X., LIU, X., LI, J. et CUI, D. (2021). Combined urea humate and wood vinegar treatment enhances wheat–maize rotation system yields and nitrogen utilization efficiency through improving the quality of saline–alkali soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(2), 1759-1770. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00477-1>
- URRUTIA, R. I., GUTIERREZ, V. S., STEFANAZZI, N., VOLPE, M. A. et WERDIN GONZALEZ, J. O. (2022). Pyrolysis liquids from lignocellulosic biomass as a potential tool for insect pest management: A comprehensive review. *Industrial Crops and Products*, 177, 114533. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114533>
- WADA, T. (1997). Charcoal Handbook" Forest Management Section, Agriculture, Forestry and Fisheries Division. *Japan: Bureau of Labour and Economic Affairs, Tokyo Metropolitan Government*.

- YAKHIN, O. I., LUBYANOV, A. A., YAKHIN, I. A. et BROWN, P. H. (2017). Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- YOUNG-HEE, H., YOH-ICHI, M., KAZUHIRO, S. et TAKANAO, M. (2005). Antimicrobial Effect of the Wood Vinegar from *Cryptomeria japonica* Sapwood on Plant Pathogenic Microorganisms. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 15(5), 1106-1109. <https://koreascience.kr/article/JAKO200507521914860.page>
- ZHU, K., GU, S., LIU, J., LUO, T., KHAN, Z., ZHANG, K. et HU, L. (2021). Wood Vinegar as a Complex Growth Regulator Promotes the Growth, Yield, and Quality of Rapeseed. *Agronomy*, 11(3), 510. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030510>

