

Effets stimulants de la combinaison silice–phosphore et de la laminarine sur la biosynthèse des composés phénoliques et des pigments foliaires chez le coton (*Gossypium hirsutum* L., Malvaceae)

Idrissa COULIBALY¹, Brahima OUATTARA^{2*}, Tchoa KONE², Abdoulaye BAMBA²
et Tanoh Hilaire KOUAKOU²

¹ Université de MAN, UFR Ingénierie Agronomique, Forestière et Environnementale, BP 20 Man, Côte d'Ivoire

² Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

(Reçu le 07 Mai 2025 ; Accepté le 14 Juin 2025)

* Correspondance, courriel : ouattbrahima15@gmail.com

Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer les effets stimulateurs de la combinaison silice-phosphore et de la laminarine sur la biosynthèse des composés phénoliques et des pigments foliaires chez trois variétés de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L., Malvaceae). Des plantules âgées de 21 jours, issues de ces variétés (BA440, BA911 et BIN10), ont été traitées par pulvérisation foliaire avec deux solutions de biocontrôle - silice-phosphore et laminarine - à différentes concentrations (1 %, 2 %, 3 %, 4 % et 5 %) et durées d'incubation (24 h, 48 h, 72 h et 96 h). Les composés phénoliques et les pigments foliaires ont été extraits à partir des feuilles, puis quantifiés. Les résultats montrent que la combinaison silice–phosphore appliquée à 3 % pendant 72 h a induit, chez la variété BA440, la plus forte accumulation de composés phénoliques ($96,49 \pm 0,06$ mg/g) et une activité photosynthétique plus importante ($247,51 \pm 1,20$ µg/g de matière fraîche). Ces résultats suggèrent que la variété BA440 présente une réactivité élevée à la biostimulation et pourrait être recommandée aux producteurs pour améliorer la résistance naturelle des plants.

Mots-clés : *défense naturelle, biocontrôle, cotonnier, pigments foliaires, activité photosynthétique.*

Abstract

Stimulatory effects of silica–phosphorus combination and laminarin on the biosynthesis of phenolic compounds and foliar pigments in cotton (*Gossypium hirsutum* L., Malvaceae)

This study evaluates the stimulatory effects of silica–phosphorus and laminarin on the biosynthesis of phenolic compounds and foliar pigments in three cotton (*Gossypium hirsutum* L., Malvaceae) variety : BA440, BA911, and BIN10. Twenty-one-day-old seedlings from these varieties were subjected to foliar spraying with two biocontrol solutions - silica-phosphorus and laminarin - at varying concentrations (1 %, 2 %, 3 %, 4 % and 5 %) and incubation durations (24 h, 48 h, 72 h, and 96 h). Phenolic compounds and leaf pigments were extracted and quantified. Results show that a 3 % silica–phosphorus treatment applied for 72 h produced the highest

accumulation of phenolic compounds (96.49 ± 0.06 mg/g) and enhanced photosynthetic activity (247.51 ± 1.20 μ g/g fresh weight) in BA440. These findings suggest that BA440 exhibits high responsiveness to biostimulation and may be recommended to growers to improve natural plant resistance.

Keywords : *natural defense, biocontrol, cotton, foliar pigments, photosynthetic activity.*

1. Introduction

Le cotonnier appartient à la famille des Malvaceae et au genre *Gossypium*. Il comporte 49 espèces dont quatre sont actuellement cultivées [1], parmi lesquelles l'espèce *Gossypium hirsutum* L. représente près de 95 % de la production mondiale de coton fibre [2]. En plus de ses fibres textiles, il est également exploité pour son huile et ses tourteaux riches en protéines [3]. En Afrique, le coton fait vivre une partie substantielle de la population et est aussi une source d'entrée de devises, ce qui lui confère l'appellation de « or blanc ». En Côte d'Ivoire, il fait vivre 3,5 millions de personnes [4]. En 2024, le pays en est devenu le 4ème producteur africain avec 394.631 tonnes [5], équivalent à 8 à 10 % des recettes d'exportation du pays soit, 1,8 % du produit intérieur brut [6]. Cependant, la production du coton graine est fortement perturbée en Afrique de l'Ouest notamment en Côte d'Ivoire, du fait du changement climatique [7], entraînant des pertes de production qui s'évaluent entre 15 et 25 %. Le cotonnier est également vulnérable à une vaste gamme de parasites et de maladies qui affectent tant la quantité et la qualité de sa production [8]. Les agents pathogènes incluent des bactéries, des virus, des mycoplasmes et en surtout des champignons [9]. En ce qui concerne les champignons, il a été rapporté que *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* (FOV) responsable de la fusariose, provoque le plus de dégâts dans les cultures cotonnières entraînant souvent des pertes de production supérieures à 50 % et même la destruction quasi-totale du potentiel de production [10, 11]. Malheureusement, les maladies du cotonnier sont difficiles à contrôler par les méthodes classiques de lutte [11]. Aussi, la lutte génétique et biologique présente des limites [12]. En outre, la protection phytosanitaire chimique, largement utilisée pour cette culture, fait l'objet de critiques croissantes en raison de sa toxicité, de son impact environnemental, des risques pour la santé, de l'érosion de la biodiversité et du développement de résistances chez les agents pathogènes [13]. Face à toutes ses contraintes, il apparaît nécessaire de rechercher des alternatives plus efficaces pour le développement d'une agriculture saine et durable. L'une parmi elles consiste à renforcer les moyens de défense naturelle des plantes contre les maladies, plutôt que de combattre directement l'agresseur [14]. Dans cette catégorie se trouvent les biocontrôles tels que stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN). Ces agents biologiques, vont favoriser chez la plante, les mécanismes de défense naturelle dont la biosynthèse des composés phénoliques [15]. Ces composés phénoliques, s'accumulent dans les tissus adjacents aux zones nécrosées, ce qui suggère qu'ils sont défensifs et peuvent permettre aux plantes de résister naturellement aux agresseurs [16]. Or, le cotonnier produit naturellement une grande diversité de composés phénoliques qui sont déterminants dans sa capacité de résistance aux maladies [10]. L'objectif de ce travail est d'évaluer les effets stimulateurs de la combinaison silice-phosphore et de la laminarine sur la biosynthèse des composés phénoliques et des pigments foliaires dans les feuilles de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.).

2. Matériel et méthodes

2-1. Site d'expérimentation

L'expérience s'est déroulée de Février à Avril 2024, sur la parcelle expérimentale de l'Université Nangui Abrogoua (entre 5° 17'–5° 31' N et 3° 45'–4° 22' O) dans le district d'Abidjan (Côte d'Ivoire) puis finalisée au laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales de ladite Université [17]. La moyenne annuelle des précipitations y est de 1917 mm avec une température moyenne de 25,6 °C [18].

2-2. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué des graines de trois variétés de cotonniers BA440, BA911 et BIN10, originaires de Turquie. Elles ont été fournies par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA). Originaires de Turquie, ces variétés sont réputées pour leur tolérance aux stress abiotiques et biotiques, ainsi que pour leurs rendements élevés (6 à 9 t/ha).

2-3. Matériel biologique : produits de biocontrôle

Deux solutions ont été utilisées pour les traitements foliaires :

- laminarine : appelée également iodus est une molécule polysaccharidique extraite de l'algue brune *Laminaria digitata*, sous forme liquide (37 g/L). Le β 1,3-glucane (polymère de glucose) en est le principe actif [19, 20].
- combinaison silice-phosphore : constituée d'éléments minéraux et a pour principe actif le silicium et le phosphore. Elle est connue pour ses effets immunostimulants chez les plantes [21, 22].

2-4. Méthodes

2-4-1. Mise en culture du cotonnier

2-4-1-1. Préparation du sol et mise en place du dispositif expérimental

Après désherbage et brûlage des résidus, des billons ont été réalisés sur une parcelle de 231 m² (21 × 11 m), divisée en trois blocs (séparés de 1,5 m), chacun contenant trois parcelles élémentaires (6 × 3 m). Chaque parcelle élémentaire comportait quatre billons de 5,5 m, espacés de 0,4 m, avec 10 poquets par billon (profondeur : 4 cm ; espacement : 50 cm). Le dispositif expérimental était un plan en blocs complets randomisés avec trois répétitions par variété (BA440, BA911, BIN10).

2-4-1-2. Délintage des graines et test de viabilité

Les graines ont d'abord été plongées dans de l'acide sulfurique concentré à 97 % pour les débarrasser de leurs fibres (linter), puis rincées à l'eau plusieurs fois. Ensuite, elles ont été plongées dans un récipient d'eau rempli d'eau de robinet. Enfin, les graines flottantes (non viables) ont été éliminées et les graines non flottantes (viables) ont été égouttées à l'air libre.

2-4-1-3. Semis des graines et entretien des plants

Trois graines ont été semées par poquet à 4 cm de profondeur. Après levée, un seul plant a été conservé. L'arrosage a été réalisé tous les deux jours à raison de 100 mL d'eau par plant.

2-4-2. Test à la combinaison silice-phosphore des différentes variétés de cotonnier

2-4-2-1. Préparation des solutions

Cinq concentrations de silice—phosphore (1 %, 2 %, 3 %, 4 % et 5 %) ont été préparées à partir d'une solution mère (45 g/L), en prélevant 1 à 5 mL, puis complétés à 100 mL avec de l'eau distillée. Une goutte de Tamol a été ajoutée comme agent mouillant.

2-4-2-2. Traitement foliaire et prélèvement des feuilles

Les plants âgés de 21 jours ont été traités avec 10 mL de solution par plant à l'aide d'un pulvérisateur manuel. Quatre temps d'incubation ont été observés (24 h, 48 h, 72 h, 96 h). Les feuilles ont ensuite été récoltées pour l'extraction et la quantification des composés phénoliques.

2-4-2-3. Extraction et dosage des composés phénoliques

L'extraction des composés phénoliques se fait selon une méthode modifiée et adaptée à notre matériel végétal [23]. Un échantillon de 0,25 g de feuilles prélevé sur chaque lot a été plongé dans 5 mL d'éthanol à 96 % et incubé à l'obscurité pendant 24h. L'extrait obtenu a servi au dosage. Le dosage, basé sur la méthode de Folin-Ciocalteu [24], a consisté à ajouter 0,1 mL d'extrait à 0,5 mL de réactif Folin 5N, puis 1,5 mL de carbonate de sodium (17 %). Après incubation de 35 min, l'absorbance a été mesurée à 765 nm. Les teneurs en composés phénoliques ont été déterminées à l'aide d'une courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique ($y = 0,0067x + 0,022$; $R^2 = 0,9985$), et exprimées en mg/g de matière fraîche (MF).

2-4-3. Étude comparative de la combinaison silice-phosphore et de la laminarine chez le cotonnier

2-4-3-1. Traitements des plants

Les traitements ont été réalisés à partir des conditions (concentration et temps d'incubation) ayant permis la plus forte biosynthèse de composés phénoliques lors de l'étape précédente. La laminarine (Vacciplant) a été appliquée à 3 % pendant 72 h, conformément aux résultats de travaux antérieurs [25]. Pour chaque biostimulant, trois plants âgés de 21 jours ont reçu 10 mL de solution par pulvérisation.

2-4-3-2. Dosage des composés phénoliques

Les feuilles traitées, ont été récoltées pour l'extraction et le dosage des composés phénolique tel que réalisés précédemment (en 2.4.2.3).

2-4-3-3. Dosage des pigments foliaires

Des fragments de feuilles (0,25 g) ont été incubés 24 h à l'obscurité dans 5 mL d'éthanol à 96 %. L'absorbance de l'extrait a été mesurée à 470 nm (caroténoïdes), 647 nm et 663 nm (chlorophylles), avec l'éthanol comme témoin. Les teneurs en pigments, exprimées en mg/g de matière fraîche, ont été calculées [26].

2-4-3-4. Equipement de pigments fonctionnels et état de verdure des feuilles

L'état fonctionnel des feuilles a été évalué à partir des rapports Chl a/Chl b (efficacité photosynthétique) et Chl t/Car (niveau de verdure), calculés à partir des teneurs en pigments foliaires.

2-4-4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide d'un logiciel STATISTICA 7.1. Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée sur tous les traitements appliqués. Lorsque cette analyse a montré une différence entre les moyennes, le test de Newmann Keuls est effectué dans le but de déterminer les différences significatives entre les traitements au seuil de 5 %.

3. Résultats

3-1. Test avec la combinaison silice-phosphore des différentes variétés de cotonnier BIN10, BA440 et BA911

Le **Tableau 1** présente les teneurs en composés phénoliques dans les feuilles de variétés BIN10, BA440 et BA911 traitées avec la combinaison silice-phosphore à différentes concentrations et temps d'incubation. Chez toutes les variétés, l'application de la solution silice-phosphore provoque une augmentation de la biosynthèse des composés phénoliques par rapport au témoin. Chez BIN10, la teneur maximale (89,47 mg/g MF) a été enregistrée avec la concentration de 4 % après 72 h. En revanche, pour BA440 et BA911, la concentration optimale a été de 3 % à 72 h, avec des teneurs respectives de 96,49 mg/g MF et 93,78 mg/g MF.

Tableau 1 : Teneur en composés phénoliques dans les feuilles de cotonnier (BIN10, BA440 et BA911) traitées avec la combinaison silice-phosphore à différentes concentrations et temps d'incubation

TI (h)	C (%)	Moyennes des teneurs en composés phénoliques (mg/g)		
		<i>BIN10</i>	<i>BA440</i>	<i>BA911</i>
24	0	38,83 ± 0,00 ⁱ	43,41 ± 0,01 ⁱ	41,22 ± 0,00 ^o
	1	68,75 ± 0,12 ⁱ	77,70 ± 0,05 ^h	73,09 ± 0,06 ⁿ
	2	73,22 ± 0,37 ^g	78,55 ± 0,03 ^h	75,66 ± 0,28 ^m
	3	76,01 ± 0,43 ^e	80,44 ± 0,05 ^g	78,30 ± 0,20 ^l
	4	75,02 ± 0,11 ^f	82,74 ± 0,05 ^{fg}	80,97 ± 0,07 ⁱ
	5	74,22 ± 0,21 ^f	81,01 ± 0,11 ^g	79,10 ± 0,08 ⁱ
48	0	38,92 ± 0,00 ^k	43,30 ± 0,04 ⁱ	41,30 ± 0,09 ^o
	1	70,61 ± 0,07 ^h	81,25 ± 0,13 ^g	74,42 ± 0,06 ^{mn}
	2	75,02 ± 0,02 ^f	83,31 ± 0,07 ^{fg}	78,63 ± 0,09 ^l
	3	77,75 ± 0,10 ^{de}	85,17 ± 0,12 ^f	82,72 ± 0,07 ⁱ
	4	79,78 ± 0,06 ^d	88,16 ± 0,06 ^d	85,49 ± 0,26 ^g
	5	78,31 ± 0,20 ^{de}	86,65 ± 0,38 ^e	83,67 ± 0,08 ^h
72	0	38,95 ± 0,05 ^k	43,33 ± 0,04 ⁱ	41,37 ± 0,05 ^o
	1	73,19 ± 0,16 ^g	88,69 ± 0,07 ^d	84,23 ± 0,10 ^h
	2	80,37 ± 0,06 ^d	92,31 ± 0,06 ^c	88,05 ± 0,12 ^d
	3	83,43 ± 0,05 ^c	96,49 ± 0,06^a	93,78 ± 0,12^a
	4	89,47 ± 0,19^a	94,08 ± 0,03 ^b	91,18 ± 0,47 ^b
	5	86,34 ± 0,06 ^b	92,61 ± 0,09 ^c	89,81 ± 0,12 ^c
96	0	38,94 ± 0,03 ^k	43,38 ± 0,07 ⁱ	41,33 ± 0,04 ^o
	1	80,67 ± 0,06 ^d	82,73 ± 0,07 ^{fg}	83,64 ± 0,11 ^h
	2	81,48 ± 1,03 ^{cd}	84,21 ± 0,07 ^f	85,17 ± 0,07 ^g
	3	83,92 ± 0,10 ^c	92,13 ± 0,20 ^c	88,89 ± 0,13 ^d
	4	84,26 ± 0,07 ^c	94,61 ± 0,12 ^b	86,99 ± 0,14 ^f
	5	82,15 ± 0,07 ^{cd}	91,60 ± 0,18 ^{cd}	86,18 ± 0,09 ^f

TI (h) : temps d'incubation en heure ; C (%) : concentration en pourcentage ; ± : erreur standard ; dans une même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Newmann Keuls à 5 %) ; les valeurs représentent la moyenne de trois répétitions ; en gras : teneur la plus élevée.

3-2. Effets comparés de la combinaison silice-phosphore et de la laminarine

3-2-1. Biosynthèse des composés phénoliques

Le **Tableau 2** présente les teneurs maximales en composés phénoliques pour chaque variété de cotonnier après traitement avec les solutions de biocontrôle à leurs concentrations et durées d'incubation optimales. L'analyse statistique révèle une différence significative entre les traitements ($p < 0,05$). La teneur la plus élevée a été observée chez BA440, traitée avec 3 % de silice-phosphore pendant 72 h (98,50 mg/g de MF), suivie de BA911 (94,88 mg/g de MF) avec le même traitement, puis de BA440 traitée avec 3 % de laminarine pendant 72 h (92,89 mg/g de MF). Ces résultats indiquent que, la variété BA440 répond le mieux aux deux traitements et la combinaison silice-phosphore induit la plus importante teneur en composés phénoliques.

Tableau 2 : Teneurs en composés phénoliques après traitement des différentes variétés de cotonnier par la combinaison silice-phosphore et la laminarine aux concentrations et temps d'incubation optimaux

Variétés	Biocontrôles	TI (h)	C (%)	Composés phénoliques (mg/g de MF)
BIN10	Vacciplant	72	3	85,92 ± 0,17 ^e
BA440			3	92,89 ± 0,16 ^c
BA911			3	89,43 ± 0,11 ^d
BIN10	Forti-Sil-P	72	4	91,05 ± 0,19 ^{cd}
BA440			3	98,50 ± 0,06^a
BA911			3	94,88 ± 0,12 ^b

TI (h) : temps d'incubation en heure ; C (%) : concentration en pourcentage ; ± : erreur standard ; dans une même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Newman Keuls à 5 %) ; les valeurs représentent la moyenne de trois répétitions ; en gras : teneur la plus élevée.

3-2-2. Teneur en pigments foliaires des variétés de cotonnier BIN10, BA440 et BA911

Le **Tableau 3** présente les teneurs en chlorophylles totales (Chl t), chlorophylles a (Chl a), chlorophylles b (Chl b) et caroténoïdes (Car) mesurées chez les trois variétés de cotonnier après traitement aux biostimulants. L'analyse statistique révèle une augmentation significative des teneurs en pigments foliaires chez les plants traités comparativement aux témoins. Les variétés BA440 et BA911 ont montré les réponses les plus marquées. Les plus fortes teneurs en Chl t (247,51 µg/g MF), Chl a (288,19 µg/g MF) et Car (95,93 µg/g MF) ont été obtenues chez BA440 traitée à la combinaison silice—phosphore. En revanche, BA911 a présenté la teneur la plus élevée en Chl b (117,23 µg/g MF) avec la combinaison silice—phosphore et en Car (96,01 µg/g MF) avec la laminarine.

Tableau 3 : Teneurs en pigments foliaires après traitement des différentes variétés de cotonnier par la combinaison silice-phosphore ou la laminarine

Variétés	Traitements	Teneur en pigments foliaires (µg/g de MF)			
		chl t	Chl a	chl b	Car
BIN10	T	76,45 ± 0,25 ^h	67,68 ± 1,00 ⁱ	42,97 ± 0,57 ^e	53,69 ± 1,12 ^d
	PT-FSP	220,13 ± 1,30 ^d	184,75 ± 4,56 ^e	99,06 ± 2,99 ^d	94,34 ± 1,52 ^{ab}
	PT-Vac	216,46 ± 1,15 ^f	178,09 ± 1,96 ^f	97,72 ± 1,67 ^d	94,44 ± 2,06 ^{ab}
BA911	T	81,68 ± 1,00 ^g	74,68 ± 1,00 ^h	40,20 ± 0,06 ^f	56,98 ± 0,08 ^c
	PT-FSP	231,02 ± 3,73 ^c	273,85 ± 6,34 ^b	117,23 ± 0,68^a	93,34 ± 2,49 ^b
	PT-Vac	232,68 ± 2,32 ^c	251,52 ± 1,18 ^d	114,22 ± 1,35 ^b	96,01 ± 0,99^a
BA440	T	97,35 ± 1,52 ^f	86,02 ± 1,52 ^g	39,98 ± 0,01 ^f	55,04 ± 0,02 ^c
	PT-FSP	247,51 ± 1,20^a	288,19 ± 4,55^a	106,95 ± 0,62 ^c	95,93 ± 1,01^a
	PT-Vac	237,51 ± 1,20 ^b	264,85 ± 1,41 ^c	107,29 ± 4,11 ^c	94,27 ± 1,49 ^{ab}

T : plante témoin ; PT-FSP : plante traitée avec le Forti-Sil-P ; PT-Vac : plante traitée avec le Vacciplant, ± :

erreur standard ; dans une même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Newmann Keuls $p < 0,05$) ; les valeurs représentent la moyenne de trois répétitions ; en gras : teneurs les plus élevées.

3-2-3. Indicateurs de l'équipement en pigments fonctionnels et de l'état de verdure

Le **Tableau 4** expose les résultats sur les indicateurs de l'équipement en pigments fonctionnels (Chl a)/(Chl b) et de l'état de verdure Chl t/Car des feuilles. Ces rapports augmentent significativement chez les plants traités par rapport aux témoins. Le rapport (Chl a)/(Chl b) est maximal chez la variété BA440, avec 3,69 sous traitement silice-phosphore et 2,47 sous laminarine. De même, le rapport (Chl t)/Car, plus élevé chez BA440 traitée à la combinaison silice-phosphore (5,58), indique un meilleur état de verdure comparé à la laminarine (4,52).

Tableau 4 : *Indicateurs de l'équipement en pigments fonctionnels et de l'état de verdure chez les feuilles de cotonnier*

Variétés	Traitements	Chl a/Chl b	Chl t/Car
BIN10	T	1,72 ± 0,06 ^a	3,51 ± 0,07 ^a
BIN10	PT-FSP	2,66 ± 0,01 ^e	4,33 ± 0,03 ^e
BA440	T	1,81 ± 0,04 ^f	3,65 ± 0,03 ^f
BA440	PT-FSP	3,69 ± 0,05^a	5,68 ± 0,04^a
BA911	T	1,86 ± 0,03 ^f	3,60 ± 0,04 ^{fg}
BA911	PT-FSP	3,09 ± 0,04 ^c	5,27 ± 0,02 ^b
BIN10	T	1,73 ± 0,04 ^g	3,57 ± 0,05 ^{fg}
BIN10	PT-Vac	2,52 ± 0,05 ^f	4,29 ± 0,06 ^e
BA440	T	1,80 ± 0,04 ^f	3,58 ± 0,03 ^{fg}
BA440	PT-Vac	3,32 ± 0,08 ^b	4,96 ± 0,03 ^c
BA911	T	1,84 ± 0,02 ^f	3,62 ± 0,03 ^f
BA911	PT-Vac	2,96 ± 0,03 ^d	4,42 ± 0,04 ^d

T : plante témoin ; PT-FSP : plante traitée avec le Forti-Sil-P ; PT-Vac : plante traitée avec le Vacciplant ; ± : erreur standard ; dans une même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Newmann Keuls, $p < 0,05$) ; les valeurs représentent la moyenne de trois répétitions ; en gras : rapports les plus élevés.

4. Discussion

4-1. Effets stimulants de la combinaison silice-phosphore sur les composés phénoliques

Les résultats montrent une stimulation significative de la biosynthèse des composés phénoliques consécutive à application foliaire de la combinaison silice—phosphore. Les éléments constitutifs de cette combinaison polyatomique pourraient induire la production de ces métabolites via plusieurs mécanismes. Parmi ceux-ci figure l'activation des voies métaboliques par le silicium, qui pourrait agir comme un signal biochimique pour activer les mécanismes impliqués dans la biosynthèse des composés phénoliques [27, 28]. Par ailleurs, en s'intégrant dans les parois cellulaires, le silicium pourrait augmenter leur résistance et stimuler la production de composés phénoliques en dehors d'une attaque pathogène [29, 30]. La production de composés phénoliques pourrait également être la conséquence de l'amélioration de l'absorption des nutriments. En effet, le phosphore, en améliorant les flux énergétiques et le métabolisme cellulaire, favoriserait indirectement l'accumulation de ces composés [31]. La synergie entre les deux éléments (Si et P) s'est avérée particulièrement marqué chez la variété BA440, illustrant l'importance du génotype dans la réponse aux

biostimulants. Ces résultats corroborent les conclusions de recherches antérieures, confirmant ainsi que l'efficacité du biostimulant dépend de sa formulation et de la plante traitée [32]. L'action de la combinaison silice-phosphore aurait ainsi contribué à la stimulation des défenses naturelles, car les composés phénoliques produits associés aux mécanismes de défense du cotonnier [10, 14].

4-2. Biosynthèse des composés phénoliques chez le cotonnier

De manière similaire à la combinaison silice-phosphore, l'application de la laminarine a entraîné une augmentation de la biosynthèse des composés phénoliques chez les cotonniers. Ce polymère de glucose agit en stimulant les défenses naturelles de la plante [25], son principe actif imitant des molécules présentes dans les parois des champignons pathogènes [25]. Cela incite la plante à activer ses mécanismes de défense (production de composés phénoliques), comme si elle était attaquée [25, 33, 30]. L'application exogène de la combinaison silice-phosphore sur les plants semble être plus propice pour induire une accumulation métabolique de nature phénolique. Cela pourrait être lié à une synergie nutritionnelle et structurale. En effet, le phosphore qui joue un rôle clé dans la production d'énergie au cours de la photosynthèse, favorisant ainsi la croissance végétale et la production de métabolites secondaires [25]. Par ailleurs, il y aurait grâce au silicium, une stimulation des mécanismes de défense qui peuvent induire la production de composés phénoliques [29]. La combinaison silice-phosphore est la plus efficace pour accroître les capacités naturelles de défense du cotonnier. En effet des travaux antérieurs ont montré que, le niveau de synthèse des composés phénoliques est en corrélation avec le niveau de défense de la plante [34 - 36].

4-3. Teneur en pigments foliaires, équipement fonctionnel et état de verdure

L'application des solutions de biocontrôle a une action bénéfique sur la synthèse des chlorophylles a et b. Ce sont les pigments primaires de la photosynthèse, absorbant la lumière dans les bandes bleue et rouge du spectre [37, 38]. Le rapport (Chl a)/(Chl b), indicateur d'efficacité fonctionnelle des complexes photosynthétiques, est plus élevé chez les plants traités, particulièrement avec la combinaison silice-phosphore. Ce phénomène est accentué chez BA440, suggérant une meilleure disponibilité des assimilats pour la biosynthèse des molécules de défense [39, 40]. L'action synergique des composants de la combinaison silice-phosphore - activation de gènes liés à la photosynthèse et production d'ATP nécessaire à la biosynthèse des pigments — entrainerait cette augmentation de la biosynthèse des pigments [31, 32]. La laminarine, quant à elle, active les voies de signalisation de défense, influençant indirectement la production de pigments [25]. Cela pourrait expliquer son efficacité moindre comparativement à la silice-phosphore. La variété BA911 montre une réponse plus marquée en chlorophylle b et caroténoïdes, suggérant une meilleure photoprotection et adaptation aux stress lumineux. En effet, l'efficacité des biostimulants dépend de leur composition et de la plante traitée [25]. En parallèle, l'analyse du rapport Chlorophylle totale/Caroténoïdes (Chl t)/Car) révèle une amélioration significative de l'équipement pigmentaire sous l'effet des biocontrôles utilisés, chez les variétés de cotonnier BA440, BA911 et BIN10. Ce rapport, fortement associé à la performance photosynthétique des plantes [41], est particulièrement élevé chez BA440 traitée avec la combinaison silice-phosphore, traduisant un état de verdure prononcé et une vigueur végétative accrue. Des valeurs de rapport supérieures à 3.5 indiquent un bon état de verdure, selon les critères établis par [42].

5. Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer les effets stimulateurs de la combinaison silice-phosphore et de la laminarine sur la biosynthèse des composés phénoliques et des pigments foliaires dans les feuilles des variétés BIN10, BA440 et BA911 de cotonnier. Les traitements par les deux biostimulants augmentent la teneur en composés phénoliques des feuilles, avec une supériorité nette pour la combinaison silice-phosphore. Cette combinaison agit de façon optimale à 3 % pendant 72 h et est la plus efficace pour stimuler la photosynthèse et renforcer la tolérance au stress, notamment chez la variété BA440. La variété BA440, associée à la combinaison silice-phosphore, constitue ainsi une recommandation pertinente pour les producteurs souhaitant optimiser la résistance de leur culture, dans une logique de protection intégrée et de résilience climatique.

Références

- [1] - G. MERGEAI, Forty years of Genetic improvement of cotton through interspecific hybridisation at Gembloux Agriculture University : Achievement and prospects, (2003) in "International Cotton Advisory Comity", Ed. World cotton Research Conference-3, Cape Town 9 – 13 March <https://icac.org/Meetings/Details?eventId=1202>
- [2] - N. O. KONAN et G. MERGEAI, Possibilités d'amélioration de la principale espèce cultivée de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) pour la résistance au nématode réniforme (*Rotylenchulus reniforme* Linford et Oliveira). *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 11 (2) (2007) 159 - 171 <http://doi.org/10.25518/1780-4507.20867>
- [3] - F. BERTI, J. L. HOFES, H. S. ZAGBAÏ & P. LEBAILLY, Le coton dans le monde, place du coton africain et principaux enjeux. *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 10 (4) (2006) 271 - 280 <https://doi.org/10.25518/1780-4507.20867>
- [4] - FONDS INTERPROFESSIONNEL POUR LA RECHERCHE ET LE CONSEIL AGRICOLES, Première édition de la Journées de l'Innovation Agricole Durable, (2019) 18 Février, firca.ci/actualite-institutionnelle/journees-de-linnovation-agricole-durable-2019/
- [5] - ANONYME 1, <https://www.tunisienumerique.com>, Quels-sont-les-plus-grands-producteurs-de-coton-en-afrique, Consulté le 25/06/2024
- [6] - ANONYME 2, Agriculture en Côte d'Ivoire. Financialafrik.com. Consulté le 08/06/2024
- [7] - B. TRAORE et J. POHE, Risque de pullulation des ravageurs et d'émergence des maladies sur le cotonnier en condition irriguée dans le nord de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 36 (2020) 284 - 305 ISSN : 1813-3290
- [8] - M. VAISSAYRE, Dix années d'expérimentation pour la protection du cotonnier en Côte d'Ivoire (1981-1990), Ed. CIRAD - Cirad Agritrop, Montpellier, N°3 (1994)
- [9] - G. DELHOVE, N. L. MALAMBA et A. DRION, Maladies et ravageurs du cotonnier, in "Publication Agricole", Ed. AGCD Bruxelles, 29 (1992) 27 - 42
- [10] - Y. K. F. KONAN, K. M. KOUASSI, K. L. KOUAKOU, E. KOFFI, D. SEKOU, M. KONE et T. H. KOUAKOU, Effect of methyl jasmonate on phytoalexins biosynthesis and induced disease resistance to *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum* in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *International Journal of Agronomy*, (2014) 1 - 11 <https://dx.doi.org/10.1155/2014/806439>
- [11] - M. SAYEGH, La résistance du cotonnier *Gossypium hirsutum* à la bactériose causée par *Xanthomonas campestriis* pathovar *malvacearum* rôle du gène GhLOX1 dans la réaction hypersensible : Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, (2009) 155 p.

- [12] - S. KOUSER et M. QAIM, Impact of Bt cotton on pesticide poisoning in smallholder agriculture : a panel data analysis, *Ecological Economics*, 70 (11) (2011) 2105 - 2113 <https://EconPapers.repec.org/v:70:y:2011:i:p:2105-2113>
- [13] - K. R. OROU, W. T. YAPO, A. G. TANO, O. Z. ONETIE et O. M. F. OROU, Etude des intoxications paysannes dues aux pesticides agricoles dans département d'Agboville, Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 18 (2) (2024) 405 - 413 <http://doi.org/10.4314/ijbcs.v18i2.7>
- [14] - L. D. G. E. AMARI, Stratégies d'évaluation et de gestion par stimulation des défenses naturelles des bananiers à l'infection de la maladie des raies noires causée par *Mycosphaerella fijiensis* (Mycosphaerellaceae) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, (2012) 237 p.
- [15] - M. S. PEDRAS et A. M. ADIO, Phytoalexins and phytoanticipins from the wild crucifers *Thellungiella halophila* and *Arabidopsis thaliana* : rapalexin A, wasalexins and camalexin, *Phytochemistry*, 69 (4) (2008) 889 - 893 <http://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.10.032>
- [16] - Z. YIN, A. SADOK, H. SAILEM, A. MC-CARTHY, X. XIA, F. LI, M. A. GARCIA, L. EVANS, A. R. BARR, N. PERRIMON, C. J. MARSHALL, S. T. WONG et C. BAKAL, A screen for morphological complexity identifies regulators of switch-like transitions between discrete cell shapes, *Nat. Cell Biol.*, 15 (2013) 860 - 871 <https://doi.org/10.1038/ncb2764>
- [17] - S. MEJRI, Efficacités et modes d'action de nouveaux stimulateurs de défenses des plantes sur le pathosystème blé - *Zymoseptoria tritici*. Thèse de Doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, Calais, (2018) 195 p.
- [18] - R. PAULERT, F. BRUNEL, R. L. J. MELCHER, S. CORD-LANDWEHR, A. NIEHUES, M. MORMANN, B. M. MOERSCH, ulvanobiuronic acid of ulvans is the smallest active unit able to induce an oxydative burst in dicot cells (2021) 318 - 338. <http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118338>
- [19] - O. KLARZYNSKI, B. PLESSE, J. JOUBERT, J. YVIN, M. KOPP, B. KLOAREG & B. FRITIG, Linear β -1,3 glucans are elicitors of defense responses in tobacco, *Plant Physiology*, 124 (3) (2000) 1027 - 1038 <https://doi.org/10.1104/pp124.3.1027>
- [20] - O. KLARZYNSKI et B. FRITIG, Stimulation des défenses naturelles des plantes in "Comptes rendus de l'Académie des Sciences - Series III -" *Sciences de la vie*, 324 (10) (2001) 953 - 963 [https://doi.org/10.1016/S0764-4469\(01\)01371-3](https://doi.org/10.1016/S0764-4469(01)01371-3)
- [21] - K. K. KOFFI, G. K. ANZARA, M. MALICE, Y. DJE, P. BERTIN, J. P. BAUDOIN & I. A. ZORO-BI, Morphological and allozyme variation in a collection of *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. from Côte d'Ivoire, *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 13 (2009) 257 - 270 <https://doi.org/10.25518/1780-4507.20867>
- [22] - CLIMATE-DATA.ORG, <https://fr.climate-data.org/afrique/cote-d-ivoire/abidjan/bingerville-58859/>. Consulté le 30/06/2024
- [23] - T. H. KOUAKOU, Polyphenol levels in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) callus cultures. *Acta Botanica Gallica*, 152 (2009) 223 - 231 <https://doi.org/10.1080/12538078.2004.10515434>
- [24] - W. VERMERRIS & R. NICHOLSON, Phenolic Compound Biochemistry. Ed. Springer, New York, (2008)
- [25] - I. COULIBALY, Stratégies phytosanitaires pour une éco-culture durable du cotonnier [*Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae)] en Côte d'Ivoire : biosynthèse des polyphénols par application de biocontrôles polysaccharidiques d'origine végétale pour une efficacité sur la fusariose. Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, (2023) 180 p.
- [26] - H. K. LICHTENTHALER, & A. R. WELLBURN, Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11 (5) (1983) 591 - 592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>

- [27] - A. CLERIVET, I. ALAMI, F. BRETON et D. GARCIA, Les composés phénoliques et la résistance des plantes aux agents pathogènes. *Acta Botanica Gallica*, 143 (6) (1996) 531 - 538 <http://doi.org/10.1080/12538078.2004.10515434>
- [28] - O. I. YAKHIN, A. A. LUBYANOV, I. A. YAKHIN et P. H. BROWN, Biostimulants in Plant Science : A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7 (2017) 1 - 32 <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- [29] - F. BARTOLI et B. SOUCHIER, cycle et rôle du silice d'origine végétale dans les écosystèmes forestiers tempérés, *Ann. Sci. Forest.*, 35 (1978) 187 - 202, <https://doi.org/10.1051/forest/19780302>
- [30] - T. FRIONI, J. VANDERWEIDE, A. PALLIOTTI, S. TOMBESI, S. PONI & P. SABBATINI, Foliar vs. soil application of *Ascophyllum nodosum* extracts to improve grapevine water stress tolerance. *Scientia Horticulturae* 277, (2021) 109807. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109807>
- [31] - Z. SEGDA, P. L. YAMEOGO1, A. MANDO2, S. KAZUKI, M. C. S. WOPEREIS3 et M. P. SEDOGO, Le phosphore limite-t-il la production intensive du riz dans la plaine de Bagré au Burkina Faso ? *Interational Journal of Biological and Chemical Science*, 8 (6) (2014) 2866 - 2878
- [32] - S. NDIAYE, A. O. Kémo GOUDIABY, I. DIEME, O. N. DIAGNE, M. BA et K. MAKANERA, Effets de la combinaison des biostimulants foliaires et racinaires sur la croissance et la production du poivron (*Capsicum annum* L.) en Basse Casamance, Sénégal, *Interational Journal of Biological and Chemical Science*, 17 (5) (2023) 1960 - 1970
- [33] - S. INDERJIT, Plant phenolic : potential involvement in allelopathy. In : Martens S, Treutter D, Forkmann G. "Polyphénols Communication 2000", Ed. Technische Universität München Munich, (2000) 581 - 582
- [34] - F. KONAN, Stimulation des défenses naturelles du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L., Malvaceae) par le méthyl jasmonate et l'éthéphon : effet sur la biosynthèse des composés phénoliques et sur la résistance à *Fusarium oxysporum* F. sp. vasinfectum, agent causal de la fusariose, Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, (2015) 202 p.
- [35] - K. D. N'GORAN, Régulation de la biosynthèse des phénols par des éliciteurs oligosaccharidiques et mycéliens d'origine fongique, effet sur la tolérance du cotonnier [*Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae)] à la fusariose. Thèse de doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, (2019) 353 p.
- [36] - A. PARVEEN, W. LIU, S. HUSSAIN, J. ASGHAR, S. PERVEEN & Y. XIONG, Silicon Priming Regulates Morpho-Physiological Growth and Oxidative Metabolism in Maize under Drought Stress. *Plants*, 8 (10) (2019) 431 - 445, <https://doi.org/10.3390/plants8100431>
- [37] - H. RAVEN, R. F. EVERT, S. E. EICHHORN, Physiologie Végétale (2nd edn), Ed. De Boeck Université, Bruxelles, (2007)
- [38] - A. L. N'CHO, L.-N. D. G. E. AMARI, Y. K. F. KONAN, D. KONE & T. H. KOUAKOU, Stimulatory effects of salicylic acid and benzothiadiazole on phenolic compounds biosynthesis in cotton leaves (*Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae)). *Journal. Program. Ressource. Chemistry.*, 5 (2) (2017) 244 - 254
- [39] - J. FARINEAU et J. F. MOROT-GAUDRY, La Photosynthèse : Processus Physiques, Moléculaires Et Physiologiques, Ed. Quae, Paris, (2011)
- [40] - P. DU JARDIN, Plant biostimulants : Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, *Biostimulants in Horticulture*, 196 (2015) 3 - 14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- [41] - J. A. GAMON, L. SERRANO et J. S. SURFUS, The photochemical reflectance index : an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species : Functional types and nutrient levels, *Oecologia*, 112 (1997) 492 - 501 <https://doi.org/10.2307/1934868>
- [42] - H. K. LICHTENTHALER et C. BUSCHMANN, Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1 (1) (2001) 431 - 438 <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>