

Valorisation des résidus agro-industriels pour la production de tomate au centre - ouest de la Côte d'Ivoire

[Recycling agro-industrial residues for tomato production in central-western Côte d'Ivoire]

TOURE Ambeyin¹⁻²⁻³, YEO Lacina¹⁻²⁻³, DIOMANDE Métangbo⁴⁻⁵, TANO Kouassi Landry-Ange Sédric¹⁻²⁻³, and SORO Dogniméton¹⁻²⁻³

¹Université Jean Lorougnon Guédé (UJLOG), Daloa, Côte d'Ivoire

²Département d'agro-pédologie et SIG, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

³Laboratoire d'Agro-valorisation, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

⁴Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

⁵Centre Suisse de Recherches Scientifiques, Côte d'Ivoire

Copyright © 2025 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: In Côte d'Ivoire, tomato cultivation is hampered by the presence of parasites in cultivated soils. However, every year the country releases large quantities of agro-industrial residues with agricultural potential into the environment, which are capable of alleviating this situation. The aim of this study was to assess the agricultural potential of carbonised rice husks, carbonised sawdust and cashew pellets with a view to developing substrates for soilless tomato production. In addition to the control (Soil), five treatments based on the above-mentioned residues were set up and laid out in a completely randomised block design. The parameters analysed included the physico-chemical properties of the soil, in particular water retention capacity, pH, and concentrations of organic matter, total nitrogen, assimilable phosphorus and potassium. In addition, the agronomic parameters considered included plant height and diameter, fruit number and mass, and yield. The results revealed that cashew pellet (C100) is richer in nitrogen (2.1%) but very acidifying ($\text{pH} = 4.6$). Substrates based on rice and sawdust offer good physico-chemical conditions. In terms of productivity, treatments SBC271 (17.93 t. ha^{-1}) and SBC55 (14.69 t. ha^{-1}) gave the highest yields after soil (19.85 t. ha^{-1}). This research has shown that it is possible to develop soilless growing substrates from these residues in order to sustainably increase market garden production.

KEYWORDS: Côte d'Ivoire, Residues, Agro-industrial, Soilless, Tomato.

RESUME: En Côte d'Ivoire, la culture de tomate est contrariée par la présence des parasites des sols cultivés. Pourtant, le pays rejette chaque année dans l'environnement de grandes quantités de résidus agro-industriels à potentiel agricole qui sont capables de pallier cette situation. L'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel agricole de la balle de riz carbonisée, sciure de bois carbonisée et pelote de cajou en vue de développer des substrats de cultures hors-sol en production de tomate. Outre le témoin (Sol), cinq traitements à base des résidus susmentionnés ont été constitués et disposés dans un dispositif en blocs complètement randomisés. Les paramètres analysés englobent les propriétés physico-chimiques du sol, notamment la capacité de rétention en eau, le pH, et les concentrations en matière organique, azote total, phosphore assimilable et potassium. Par ailleurs, les paramètres agronomiques considérés comprennent la hauteur et le diamètre des plants, le nombre et la masse des fruits, ainsi que le rendement. Les résultats ont révélé que la pelote de cajou (C100) est plus riche en azote (2,1 %) mais très acidifiant ($\text{pH} = 4,6$). Les substrats à base de riz et de sciure de bois offrent de bonnes conditions physico-chimiques. Du point de vue de la productivité, les traitements SBC271 (17,93 t. ha^{-1}) et SBC55 (14,69 t. ha^{-1}) ont donné les meilleurs rendements après le sol (19,85 t. ha^{-1}). Cette recherche a montré qu'il est possible de développer des substrats de culture hors-sol à partir de ces résidus afin d'augmenter durablement la production maraîchère.

MOTS-CLEFS: Côte d'Ivoire, Résidus, Agro-industriels, Hors-sol, Tomate.

1 INTRODUCTION

La population mondiale est en forte croissance et devrait passer de 8,2 milliards à 9,1 milliards en 2050, avec une concentration importante dans les pays en développement [1]. À cet horizon, 70 % de la population vivra dans les villes ou zones urbaines, entraînant une augmentation significative de la demande alimentaire et posant des enjeux majeurs de sécurité alimentaire et nutritionnelle ([2], [3]). Pour satisfaire ces besoins, la production alimentaire devra augmenter de 70 % d'ici 2050 [4].

Dans les pays en développement, l'agriculture est confrontée à plusieurs contraintes: le taux d'accroissement urbain reste élevé (3,6 % par an) ([5], [6]), l'accès aux terres cultivables est limité par la concurrence des usages urbains tels que l'habitat et les infrastructures ([2], [7]), et les infestations parasitaires ainsi que l'usage parfois inapproprié de pesticides menacent la qualité des productions et la santé des consommateurs [8].

Dans ce contexte, la Côte d'Ivoire, pays à vocation agricole, a historiquement tiré parti de conditions climatiques et forestières favorables pour accroître sa production sans apport d'intrants, principalement par expansion des superficies cultivées [9]. Cette agriculture extensive et itinérante a toutefois contribué à la dégradation des sols et à la destruction du couvert forestier, limitant la productivité de plusieurs cultures. Les terres les plus fertiles sont occupées par les cultures de rente, telles que le cacaoyer, le cafetier, le palmier à huile et l'hévéa en zones forestières et pré-forestières, ainsi que le cotonnier, l'anacardier et le manguier en zone savanique [10]. Chaque année, ces pratiques réduisent les superficies disponibles pour les cultures vivrières ([9], [11]), tandis que des activités comme l'orpaillage accentuent également la dégradation des terres cultivables [11].

La tomate joue un rôle clé dans l'alimentation des ménages ivoiriens. Consommée fraîche, en purée, en sauce ou transformée, elle fournit des vitamines A, C et E, des minéraux et des antioxydants, contribuant à l'équilibre nutritionnel et à la prévention des carences ([12], [13]). Sur le plan économique, elle constitue l'une des principales cultures maraîchères des marchés urbains et périurbains, générant des revenus significatifs pour les petits producteurs, en particulier les femmes [14]. Malgré son importance, la production nationale reste insuffisante face à la demande croissante, obligeant le pays à importer régulièrement du concentré de tomate. Cette dépendance accentue la vulnérabilité alimentaire et souligne la nécessité de renforcer la production locale ([12], [13]).

Pour répondre à ces défis et accroître la production maraîchère dans un contexte de pression foncière et parasitaire, la culture hors-sol apparaît comme une alternative pertinente. Cependant, les substrats hors-sol disponibles restent coûteux et peu accessibles aux petits producteurs. Il est donc nécessaire de développer des substrats à base de résidus agro-industriels locaux. C'est dans cette optique que cette étude a été initiée, visant à évaluer la qualité physico-chimique de la sciure de bois, de la balle de riz et de la pelote de cajou, et à comparer la productivité de la tomate sur ces substrats à celle obtenue sur sol.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 MILIEU D'ÉTUDE

Les travaux se sont déroulés à l'université Jean Lorougnon Guédé, Daloa (6°30 et 8° de latitude Nord et 5° et 8° de longitude Ouest), au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire (Figure 1). Le climat y est bimodal avec deux saisons de pluies (de mars à juin et d'août à novembre) et deux saisons sèches (juillet et de décembre à février) [12].

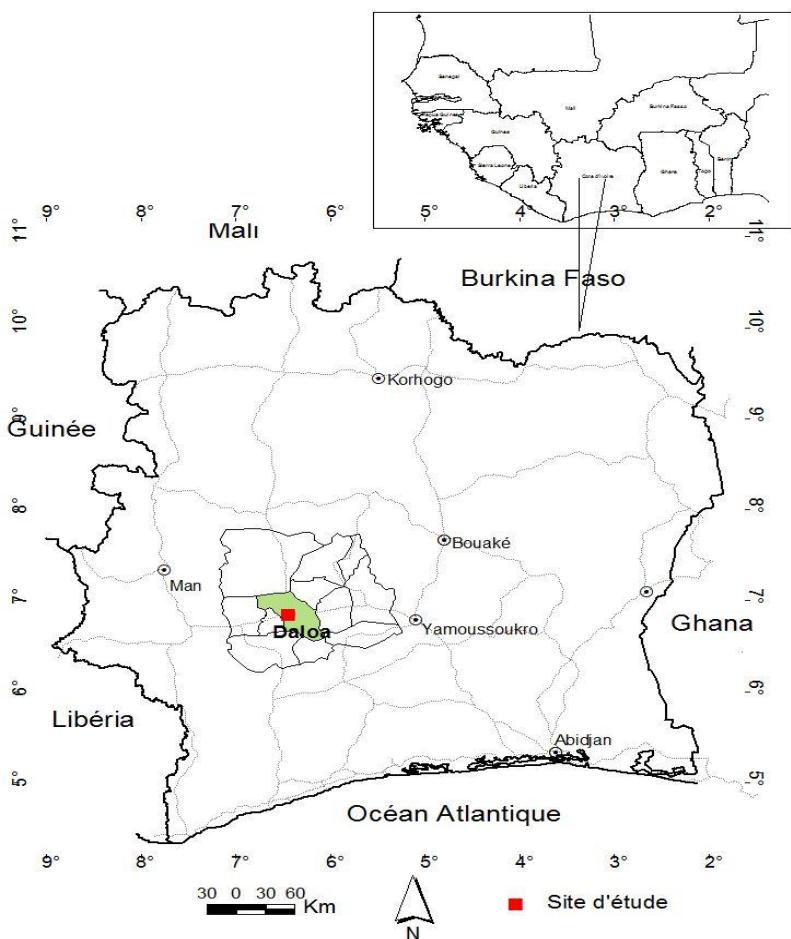


Fig. 1. Situation de la zone d'étude en Côte d'Ivoire

2.1.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les plants de la variété F1 de tomate Cobra 26 ont constitué le matériel végétal. Cette variété à croissance déterminée a été utilisée comme une plante test dans le système de culture hors-sol afin d'évaluer la performance agronomique des substrats.

2.1.3 RÉSIDUS AGRICOLES

Pour cette étude, trois résidus agricoles ont été sélectionnés dont deux carbonisés, à savoir la balle de riz et la sciure de bois, et un non carbonisé, constitué des pelotes de noix de cajou. Leur choix a été motivé par leur disponibilité dans la zone d'étude (Daloa). La balle de riz et la sciure de bois ont été collectées dans des moulins alors que la pelote de cajou a été collectée auprès d'une entreprise de décorticage de la noix de cajou.

2.1.4 MATÉRIEL TECHNIQUE

Le matériel technique utilisé est constitué de seaux de culture (Figure 2 a), de 4 fours de carbonisation (Figure 2 b) pour la carbonisation de la balle de riz et de la sciure de bois, d'un système d'irrigation goutte à goutte, d'un pied à coulisse (Figure 2 c) pour mesurer le diamètre, d'une règle graduée de 50 centimètres pour évaluer et la hauteur des plants, d'une bâche d'isolation du sol, d'un pulvérisateur pour l'épandage des produits phytosanitaires et d'une balance électronique pour les pesées.

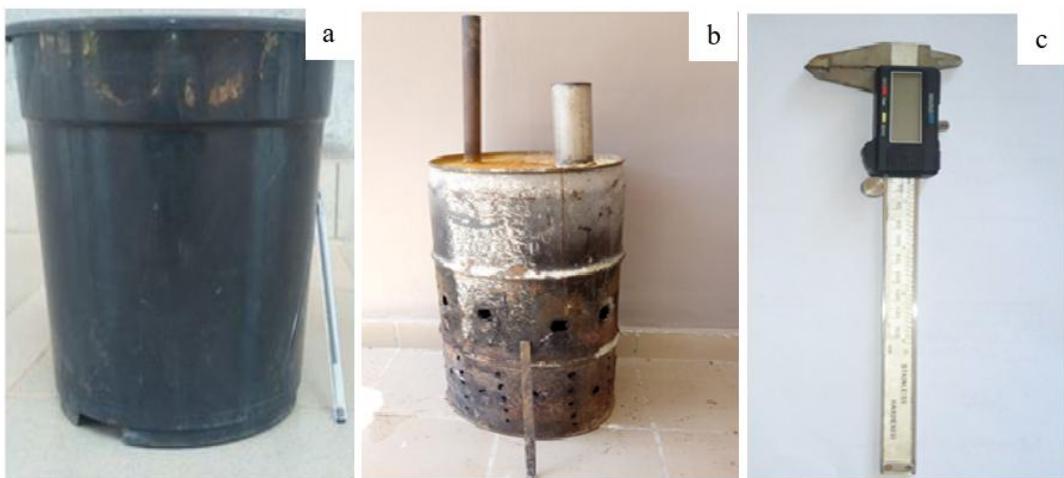


Fig. 2. Quelques matériels techniques

a: Seau de culture; b: Carbonisateur artisanal; c: Pied à coulisse

2.1.5 MATÉRIEL ÉDAPHIQUE

Le matériel édaphique comprend un échantillon de sol prélevé à 20 cm de profondeur sur le site d'étude avant les essais. Il inclut également cinq échantillons issus des traitements élaborés à partir de résidus agricoles, collectés avant le repiquage des plants.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 CARBONISATION DES RÉSIDUS AGRO-INDUSTRIELS

La carbonisation de la balle de riz et sciure de bois a été faite selon la méthode à l'étouffé [16], qui suit trois étapes:

- **Mise en flamme des résidus agroindustriel**s: elle a consisté, dans un premier temps, à constituer un tas de la matière à carboniser, dont la taille varie en fonction de la matière. Dans un second temps, un brûleur (brindilles de bois) a été aménagé au sommet du tas pour y mettre du feu (Figure 3 a).
- **Combustion**: le feu a été recouvert avec le carboniseur et la matière à carboniser a été entassée autour de celui-ci. La durée de cette étape est fonction du type et de la taille du tas des résidus (Figure 3 b).
- **Refroidissement**: En fin de combustion, le feu a été éteint avec de l'eau et la matière carbonisée a été laissée se refroidir, à l'air libre, 20 à 30 mn avant de la mettre dans des sacs (Figure 3 c).



Fig. 3. Etapes de carbonisation des résidus agroindustriel

a: Mise en flamme; b: Combustion; c: Refroidissement

2.2.2 CONSTITUTION DES TRAITEMENTS ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Cinq (5) substrats de culture hors-sol à base de sciure de bois carbonisée, de balle de riz carbonisée et de pelure de cajou ont été constitués. Ces substrats constitués ont été ensuite testés dans des seaux de cinq litres (5 l) comme support de culture et en présence d'un témoin au sol (Tableau I). Ainsi, tous ces traitements (5 substrats + 1 témoin) ont été disposés dans un bloc complètement randomisé avec trois répétitions aux écartements 50 cm x 40 cm [16].

Tableau 1. *Composition des traitements*

Traitements	Sciure de bois (%)	Balle de riz (%)	Cajou (%)
S100	100	0	0
B100	0	100	0
C100	0	0	100
SBC55	50	50	0
SBC271	20	70	10
SOL	0	0	0

S: sciure de bois; B: Balle de riz; C: Cajou

2.2.3 MISE EN PLACE DE LA PEPINIERE

La pépinière a été réalisée dans des plaques alvéolaires remplies de sciure de bois décomposée et traitée avec du chlorpyrifos-éthyl (pyrical 5 G, insecticide), pour lutter contre une attaque éventuelle des insectes. Une graine de tomate a été semée dans chaque alvéole de la plaque alvéolaire et l'ensemble a été mis à l'ombre (Figure 4 a). La pépinière a été progressivement sevrée en l'exposant graduellement au soleil. De sa mise en place jusqu'au repiquage des plants, la pépinière a été arrosée à l'aide d'un pulvérisateur deux fois par jour (matin et soir) et traitée deux fois avec Eforia, un insecticide (Figure 4 b).



Fig. 4. *Mise en place de la pépinière*

a: Semis des graines de tomate; b: Arrosage de la pépinière

2.2.4 REPIQUAGE ET ENTRETIEN DE LA CULTURE

Après 21 jours de croissance dans les alvéoles, les plants de tomates ont été enlevés et repiqués. Les arrosages ont été effectués en utilisant un système d'arrosage goutte à goutte. Une quantité de 500 ml (avant floraison) à 1000 ml (à partir de la floraison) d'eau par jour (matin et soir) a été apportée à chaque pied de tomate. Des engrains minéraux en granulés notamment, le winner de formulation NPK 15-9-20 et le nitrabor de formulation NC₆B 15,4-18,3-0,3, ont été apportés aux plantes en fonction du stade de développement de la plante. Trois applications de 10 grammes de chaque engrain granulé ont été faites au cours du cycle cultural de la tomate.

Les gourmands (petites pousses latérales, bourgeons) et les branches précoce, de même que les feuilles vieilles, jaunies ou malades, ont été coupées à l'aide d'une paire de ciseaux pour ne laisser que la tige principale et les ramifications supérieures. Cette activité permet d'avoir des plantes assez vigoureuses et des fruits bien formés. A la floraison les plantes ont été reliées à des tuteurs (Figure 5).



Fig. 5. Système de tuteurage des plants de tomate

2.2.5 COLLECTE DES DONNÉES

2.2.5.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DU SOL ET DES SUBSTRATS DE CULTURE

Un échantillon de chaque substrat constitué a été prélevé alors que l'échantillonnage du sol s'est fait à l'aide d'une tarière. Tous ces échantillons ont été analysés au laboratoire d'analyse des végétaux et des sols (LAVESO) de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro (INPHB). Le pH, la capacité de rétention en eau, l'azote total, le phosphore assimilable, le potassium, le taux de matière organique et la Capacité de Rétention en Eau (CRE).

- Le pH du sol et des substrats de culture hors-sol a été mesuré par lecture directe au pH-mètre selon un rapport sol/eau distillée de 1/2,5, après un temps d'équilibre de 4 heures.
- La mesure de la matière organique (MO) du sol a été évaluée par détermination du taux de carbone (C) dans le sol par la méthode de [18]. La teneur en matière organique est donnée par la formule 1:

$$MO (\%) = C (\%) \times 1,72 \quad (1)$$

Quant aux substrats de culture hors-sol, la teneur en matière organique est déterminée par la perte en masse lors de la calcination à 480 °C durant 6 heures de l'échantillon d'humidité résiduelle connue.

- L'azote total dans le sol et les substrats de culture hors-sol a été obtenu par minéralisation à chaud (300 °C) de la matière organique des sols, selon la méthode Kjeldahl [18].
- Le dosage du phosphore assimilable a été fait en suivant la méthode de Olsen-Dabin.
- La Capacité d'Echange Cationique (CEC) a été déterminée par la méthode Metson décrite dans la norme NF X31-130.
- La teneur du potassium a été déterminée par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) à flamme air-acétylène.
- La capacité de rétention en eau (CRE) est déterminée par la formule (2):

$$CRE (\%) = \frac{Pt (g) - Ps (g)}{Vt}$$

Avec Pt: Poids de l'ensemble récipient et échantillon après ressuyage; Ps: Poids de l'ensemble récipient et échantillon sec; Vt: Volume total du récipient.

2.2.5.2 PARAMETRES DE CROISSANCE ET DE PRODUCTION DE LA TOMATE

La hauteur des plantes de tomate a été déterminée une fois par quinzaine du 30^{ème} à 75^{ème} après semis. Les fruits récoltés sont dénombrés et pesés à l'aide d'une balance pour obtenir la masse totale en fin de cycle. La masse obtenue a servi à calculer le rendement (Formule 3):

$$\text{Rendement (t. ha}^{-1}) = \frac{\text{Masse des fruits récoltés (kg)}}{\text{Superficie occupée (m}^2)} \times 10$$

2.2.6 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Les données collectées ont été analysées sous SAS version 9.4. Une ANOVA est appliquée aux données pour apprécier l'effet des substrats sur l'ensemble des paramètres agronomiques étudiés. Ensuite, le test de Tukey a été réalisé pour regrouper les traitements qui ont produit des effets similaires sur les paramètres agronomiques étudiés, lorsqu'une différence significative existe entre eux pour une variable. La carte de présentation de la zone d'étude est réalisée sur Arc view 3.2.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES TRAITEMENTS

- Capacité de rétention en eau (CRE)

L'analyse de variance de la capacité de rétention en eau (CRE %) des substrats a révélé une différence très hautement significative ($P = 0,000$) entre les traitements. La balle de riz (B100) présente la capacité de rétention en eau (CRE) la plus élevée, soit 65 %, suivie de la pelote de cajou (C100) avec 55 %. La sciure de bois (S100) affiche la CRE la plus faible, à 10 %. Les substrats composites SBC55 et SBC271 présentent des CRE intermédiaires, respectivement de 18 % et 40 % (Tableau II).

- pH

Le pH des substrats présente des variations significatives selon les traitements ($P = 0,007$). Trois classes de traitements peuvent ainsi être identifiées: acide (C100), faiblement acide (SBC271, SOL) et neutres (S100, B100, SBC55) (Tableau II).

- Matière organique

Le tableau II montre une différence significative ($P = 0,017$) du taux de matière organique contenu dans les substrats étudiés. Le taux de matière organique des substrats étudiés varie de 1,47 % dans le sol témoin (SOL) à 3,52 % dans C100. Les traitements C100, SBC55 et B100, présentant un taux supérieur à 3 %, sont considérés comme riches en matière organique. En revanche, les substrats S100 et SBC271, dont le taux est inférieur à 3 %, sont classés comme moyennement riches en matière organique.

- Azote, phosphore et potassium

Les teneurs en azote, phosphore assimilable et potassium diffèrent significativement selon les traitements, avec des variations très hautement significatives pour l'azote et le potassium ($P = 0,000$). Le traitement C100 présente la teneur en azote la plus élevée (2,1 %), tandis que la sciure de bois carbonisée (S100) et la balle de riz carbonisée (B100) affichent chacune 0,42 %. Les substrats composites SBC55 et SBC271 présentent respectivement 0,28 % et 0,9 % d'azote, le sol témoin (SOL) présentant la valeur la plus faible (0,11 %). En revanche, les traitements S100, B100, C100, SBC55 et SBC271 ont des teneurs en phosphore assimilable statistiquement équivalentes, le SOL affichant la plus forte teneur (0,87 %). Les concentrations en potassium varient de 0,11 % dans le SOL à 0,67 % dans SBC271, tous les substrats hors-sol étant plus riches en potassium que le sol témoin, avec SBC271 et B100 présentant les taux les plus élevés (Tableau II).

- ✓ Capacité d'échange cationique

Le tableau II présente les valeurs de capacité d'échange cationique (CEC) des différents substrats, révélant une différence très hautement significative entre les traitements ($P = 0,000$). Le sol témoin (SOL) affiche la CEC la plus élevée ($47,6 \text{ cmol.kg}^{-1}$), tandis que le substrat composite SBC271 présente une CEC intermédiaire ($32,2 \text{ cmol.kg}^{-1}$) et B100 une valeur de $28,54 \text{ cmol.kg}^{-1}$. Les substrats S100 ($21,88 \text{ cmol.kg}^{-1}$), C100 ($24,29 \text{ cmol.kg}^{-1}$) et SBC55 ($25,58 \text{ cmol.kg}^{-1}$) enregistrent les valeurs les plus faibles parmi les substrats hors-sol.

Tableau 2. Caractéristiques physiques et chimiques des traitements

Traitements	CRE (%)	pH	MO (%)	N (%)	P (%)	K (%)	CEC (cmol.kg ⁻¹)
S100	10 ^d	6,5 ^a	2,78 ^{ab}	0,42 ^c	0,19 ^b	0,21 ^{bc}	21,88 ^d
B100	65 ^a	6,8 ^a	3,02 ^{ab}	0,42 ^c	0,23 ^b	0,63 ^a	28,54 ^{bc}
C100	55 ^b	4,6 ^b	3,52 ^a	2,1 ^a	0,24 ^b	0,42 ^{ab}	24,29 ^{cd}
SBC55	18 ^d	7 ^a	3,06 ^{ab}	0,28 ^c	0,19 ^b	0,5 ^{ab}	25,58 ^{cd}
SBC271	40 ^c	5,6 ^{ab}	2,81 ^{ab}	0,9 ^b	0,22 ^b	0,67 ^a	32,2 ^b
SOL	-	6,2 ^{ab}	1,47 ^b	0,11 ^c	0,87 ^a	0,11 ^c	47,6 ^a
P	0,000***	0,007**	0,017*	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
CV	0,582	0,164	0,203	0,989	0,788	0,561	0,295

***: Très hautement significatif; **: Hautement significatif; *: Significatif; CV: Coefficient de variation; B100: 100 % sciure de bois carbonisée; B100: 100 % balle de riz carbonisée; C100: 100 % pelote de cajou; SBC55: 50 % sciure de bois carbonisée + 50 % de balle de riz carbonisée; SBC271: 20 % sciure de bois carbonisée + 70 % balle de riz carbonisée + 10 % pelote de cajou; CRE: Capacité de rétention en eau; pH: potentiel hydrogène; MO: matière organique; N: azote; P: phosphore; K: potassium; CEC: capacité d'échange cationique. Les moyennes de la colonne suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 %

3.2 CROISSANCE ET PRODUCTION DE LA TOMATE

Les traitements ont significativement influencé le diamètre et la hauteur des plants, le nombre et la masse de fruits ainsi que le rendement, avec des différences très hautement significatives ($P = 0,000$) (Tableau III). Le diamètre des plants a varié de 0,7 mm pour C100 à 9,1 mm pour le sol témoin (SOL). Le SOL et S100 ont présenté les plus gros diamètres, suivis des traitements composites SBC271, SBC55 et du substrat B100. En ce qui concerne la hauteur, le témoin SOL a favorisé la croissance maximale (64,93 cm), tandis que C100 (pelote de cajou) a enregistré la plus faible hauteur (13,6 cm). Les traitements composites SBC271 et SBC55 ont permis d'obtenir des plants plus grands (60,11 cm et 57,67 cm, respectivement) que les substrats non composites B100 (53,02 cm), S100 (52 cm) et C100. Globalement, la pelote de cajou (C100) a eu un effet très limité sur la croissance des plants de tomates.

Concernant la production, les meilleurs résultats en nombre de fruits ont été observés pour les traitements SOL (18,4 fruits), SBC271 (18,8 fruits) et SBC55 (15,67 fruits), tandis qu'aucun fruit n'a été récolté sur C100. La masse des fruits et le rendement ont suivi la même tendance, les traitements SOL, SBC271 et SBC55 favorisant les valeurs les plus élevées. Le rendement maximal parmi les substrats hors-sol a été obtenu avec SBC271, atteignant 17,93 t·ha⁻¹. Dans l'ensemble, le sol témoin (SOL) a contribué à la meilleure production de tomates.

Tableau 3. Effet des traitements sur la croissance et la production de la tomate

Substrats	Diamètre (mm)	Hauteur (cm)	Nbre de fruits	Masse (kg)	Rend (t.ha ⁻¹)
S100	7,8 ^a	52 ^b	9,53 ^b	299,8 ^c	10,4 ^{cd}
B100	4,1 ^b	53,02 ^b	11,53 ^{ab}	282 ^{bc}	9,72 ^d
C100	0,7 ^c	13,6 ^c	0 ^c	0 ^d	0 ^e
SBC55	5,1 ^b	57,67 ^{ab}	15,67 ^a	441,2 ^{ab}	14,69 ^{bc}
SBC271	5,4 ^b	60,11 ^{ab}	16,8 ^a	536,53 ^{ab}	17,93 ^{ab}
SOL	9,1 ^a	64,93 ^a	18,4 ^a	596 ^a	19,85 ^a
P	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
CV	0,448	0,351	0,457	0,559	0,565

***: Très hautement significatif; CV: Coefficient de variation; B100: 100 % sciure de bois carbonisée; B100: 100 % balle de riz carbonisée; C100: 100 % pelote de cajou; SBC55: 50 % sciure de bois carbonisée + 50 % de balle de riz carbonisée; SBC271: 20 % sciure de bois carbonisée + 70 % balle de riz carbonisée + 10 % pelote de cajou; mm: millimètre; cm: centimètre; kg: kilogramme; Nbre: Nombre; Rend: rendement; t. ha⁻¹: tonne par hectare. Les moyennes de la colonne suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 %.

3.3 CORRELATIONS ENTRE LES PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DES SUBSTRATS ET LES PARAMÈTRES DE CROISSANCE ET DE PRODUCTION DE LA TOMATE

Des corrélations entre les propriétés physico-chimiques des substrats et les paramètres de croissance et de production de la tomate ont été observées (Tableau IV). La capacité de rétention en eau s'est révélée positivement corrélée à la matière organique ($r = 0,5$), au phosphore assimilable ($r = 0,94$) et au potassium ($r = 0,61$), tout en présentant une corrélation négative avec le diamètre des plants ($r = -0,73$). Le pH, en revanche, est négativement corrélé au taux de matière organique ($r = -0,6$), à l'azote total ($r = -0,97$) et au phosphore assimilable ($r = -0,68$), mais montre une corrélation positive avec les paramètres de croissance (diamètre et hauteur) et de production (nombre de fruits, masse et rendement) de la tomate. Les teneurs en matière organique, en azote total et en phosphore assimilable sont globalement négativement associées aux paramètres de croissance et de production. Par ailleurs, la matière organique est positivement corrélée à l'azote ($r = 0,78$) et au phosphore assimilable ($r = 0,61$), tandis que le phosphore assimilable est fortement corrélé à l'azote (r

= 0,72). La capacité d'échange cationique (CEC) présente une corrélation positive avec le potassium ($r = 0,94$), le nombre de fruits ($r = 0,57$), la masse ($r = 0,57$) et le rendement ($r = 0,56$). Le diamètre et la hauteur des plants sont positivement corrélés entre eux ainsi qu'aux paramètres de production. Le nombre de fruits, quant à lui, est fortement associé à la masse ($r = 0,98$) et au rendement ($r = 0,98$), avec une corrélation parfaite ($r = 1$) observée entre la masse et le rendement.

Tableau 4. Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques des traitements, de croissance et de production de la tomate

Var	CRE	pH	MO	N	P	K	CEC	dia	haut	Nfruit	Masse	Rend
CRE	1											
pH	-0,39	1										
MO	0,50	-0,60	1									
N	0,47	-0,97	0,78	1								
P	0,94	-0,68	0,61	0,72	1							
K	0,61	0,01	-0,02	-0,04	0,47	1						
CEC	0,47	-0,05	-0,26	-0,07	0,39	0,94	1					
dia	-0,73	0,67	-0,94	-0,81	-0,81	-0,29	-0,07	1				
haut	-0,41	0,78	-0,89	-0,90	-0,61	0,30	0,42	0,81	1			
Nfruit	-0,34	0,66	-0,78	-0,79	-0,52	0,48	0,57	0,65	0,96	1		
Mas	-0,41	0,55	-0,81	-0,71	-0,54	0,42	0,57	0,69	0,93	0,98	1	
Rend	-0,42	0,56	-0,82	-0,73	-0,54	0,41	0,56	0,70	0,94	0,98	1,00	1

Var: Variable; CRE: Capacité de rétention en eau; pH: Potentiel hydrogène; MO.: Matière organique; N: Azote; P: Phosphore; K: Potassium; CEC: Capacité d'échange cationique; dia: Diamètre; haut: Hauteur; Nfruit: Nombre de fruits; Rend: Rendement.

4 DISCUSSION

Les traitements ont présenté des caractéristiques physico-chimiques variées, influençant de manière différenciée la croissance et la production des plants de tomate. L'analyse des substrats a montré que la balle de riz carbonisée (B100), avec une capacité de rétention en eau (CRE) de 65 %, retient davantage d'eau que la pelote de cajou (C100) à 55 % et la sciure de bois carbonisée (S100) à 10 %. Cette forte CRE de la balle de riz est liée à sa structure interne susceptible de retenir l'eau par gonflement [16], bien que ces résultats diffèrent de ceux rapportés par [19], qui indiquent respectivement 26,9 % et 46,76 % pour la balle de riz et la sciure de bois. Ces différences peuvent s'expliquer par la texture et la teneur en matière organique des substrats, car un support de culture retient davantage d'eau lorsqu'il contient une proportion importante de particules fines [20]. Par ailleurs, la matrice de corrélation a montré une association positive entre la CRE et la teneur en matière organique. La CRE relativement élevée (40 %) du traitement composite SBC271 s'explique par la présence de balle de riz carbonisée, imposant différentes exigences en matière d'irrigation: les substrats à faible CRE, comme la sciure de bois, nécessitent une fréquence d'arrosage élevée, tandis que le riz et le cajou demandent moins d'eau [21]. Dans la pratique, seuls les substrats dominés par le cajou ont présenté une contrainte hydrique, en raison de leur texture homogène et lamellaire qui se comporte comme une argile, se compactant sous excès d'eau et durcissant au retrait [16].

Les résultats ont révélé que le pH des substrats varie également selon leur composition. La pelote de cajou présente un pH acide, alors que la balle de riz et la sciure de bois offrent des conditions proches de la neutralité [22]. Ces observations diffèrent de ceux de ([23], [24], [25]), qui rapportent des pH basiques pour des résidus carbonisés, probablement en raison de la présence de cendres contenant du bicarbonate de potassium et du carbonate de calcium, conférant un effet alcalinisateur [26]. Les modifications de pH observées dans les traitements composites (SBC271 et SBC55) sont principalement attribuables à la présence de cajou. Globalement, les pH des substrats (sauf pour C100) sont compatibles avec une bonne production agricole et similaires à ceux des fibres de coco (5,4 à 6,7) [27]. Le traitement C100, avec un pH de 4,6, est trop acide pour une croissance optimale de la tomate, bien qu'il reste dans l'intervalle toléré pour la pomme et la noix de cajou (4,2–5) [28].

En termes de capacité d'échange cationique (CEC), tous les traitements présentent des valeurs satisfaisantes, SBC271 offrant la plus élevée parmi les substrats hors-sol. Cependant, les CEC restent inférieures à celles des substrats à base de perlite (60–140 cmol.kg⁻¹) ([29], [30]), probablement en raison de la taille des particules, la CEC étant inversement proportionnelle à celle-ci [16]. Les traitements présentent des teneurs convenables en matière organique (sauf le SOL), potassium, phosphore et azote. Le traitement C100 se distingue par les meilleurs taux de matière organique (3,52 %) et d'azote (2,1 %), tandis que les autres substrats ont des teneurs en azote inférieures à 1 %, cohérentes avec les observations de [28] pour la pomme de cajou. Le pH acide demeure la principale limitation qualitative de C100.

Les traitements S100, B100, SBC55, SBC271 et SOL ont favorisé la croissance des plants, contrairement à C100 dont les caractéristiques physico-chimiques défavorables ont limité le développement. La hauteur, le diamètre au collet, le nombre de fruits, la masse et le rendement ont été fortement influencés par la qualité du substrat. L'absorption des minéraux et de l'eau est conditionnée par les propriétés physiques et chimiques des substrats, notamment le pH. Comme le montrent ([31], [32]), un pH acide limite la

croissance racinaire et générale des plants de tomate, observation confirmée par la présente étude: les corrélations indiquent que la croissance et la production augmentent lorsque le pH tend vers la neutralité. Les substrats S100, B100, SBC55, SBC271 et SOL, avec des pH compris entre 5,6 et 6,8, offrent des conditions favorables à la tomate, expliquant le bon développement et les rendements élevés. Le faible rendement observé sur C100 ($0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) est attribuable à l'acidité excessive (pH 4,6) et à la perte des plants deux à trois semaines après repiquage [33].

Les traitements composites SBC271 et SBC55 ont donné les meilleurs résultats en termes de nombre moyen de fruits (18,8 et 15,67 fruits) et de rendement (17,93 et $14,69 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), juste après le témoin SOL. Ces performances illustrent la complémentarité des propriétés physiques et chimiques de la balle de riz carbonisée combinée à la sciure de bois et/ou à une faible proportion de pelote de cajou (10 %), confirmant les observations de [26] selon lesquelles l'association de résidus carbonisés avec d'autres substrats en proportion inférieure améliore le développement végétatif et le rendement.

5 CONCLUSION

Face à la disponibilité foncière limitée, à la dégradation des sols et à la concurrence entre cultures de rente et vivrières, la culture hors-sol apparaît comme une alternative prometteuse pour accroître la production maraîchère. Cette étude a montré que les substrats issus de résidus agro-industriels présentent un potentiel intéressant pour la culture de la tomate. La balle de riz carbonisée et les mélanges composites, notamment le traitement SBC271 (20 % sciure + 70 % balle de riz + 10 % cajou), se sont distingués par leur capacité de rétention en eau, leur richesse en éléments nutritifs et leur effet positif sur la croissance et le rendement. À l'inverse, la pelote de cajou utilisée seule (C100) s'est révélée peu adaptée. Comparé au sol témoin, globalement plus performant, certains substrats composites, en particulier SBC271, affichent un rendement compétitif de $17,93 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ces résultats confirment l'intérêt de valoriser les déchets agricoles dans une logique d'économie circulaire et de durabilité, tout en appelant à des recherches complémentaires sur leur optimisation et leur faisabilité socio-économique.

REFERENCES

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, World Population Prospects, 2024. [Online] Available: <https://population.un.org/wpp/> (6 Août, 2025).
- [2] Mougeot, L. J. A., *Urban agriculture: definition, presence, potentials and risk*, In: N.Bakker, M. Dubbeling, S. Gündel, U. Sabel-Koschella, and H. De Zeeuw (Eds), Growing cities, growing food, Canada: E-Publishing Inc, pp. 1 – 43, 2000.
- [3] Van veenhuizen, R., *Cities Farming for the Future*, In: R. van Veenhuizen (Eds), Cities farming for the future: urban agriculture for green and productive cities, Canada: E-Publishing Inc, pp. 1 – 19, 2006.
- [4] FAO), Report of the FAO expert meeting on how to feed the world in 2050, 2009. [Online] Available: <https://www.fao.org/4/ak542e/ak542e00.htm> (7 Août, 2025).
- [5] Mougeot, Agropolis: The Social, Political and Environmental Dimensions of Urban Agriculture, 1st Ed. Earthscan, 2005.
- [6] Mawois, Constitution des systèmes de culture maraîchers à proximité d'une ville: quelles marges de manœuvre des agriculteurs pour répondre à une augmentation de la demande ? Cas des systèmes de culture à base de légumes feuilles dans l'espace périurbain de Mahajanga (Madagascar), Cirad – Agritrop, 2009.
- [7] L. Temple and P. Moustier, «Les fonctions et contraintes de l'agriculture périurbaine de quelques villes africaines (Yaoundé, Cotonou, Dakar),» *Cahiers Agricultures*, vol. 13, n°1, pp. 15-22, 2004.
- [8] G. B. F. Zro, D. Soro and D. H. A. Abobi, «Analyse comparée des effets de deux amendements organiques sur le statut organo-minéral et la productivité d'un sol sableux,» *Journal of Applied Biosciences*, vol. 124, n°1, pp. 12416-12423, 2018.
- [9] K. E. Koffi, Systèmes agricoles en danger: actions prioritaires pour l'adaptation au changement climatique, Rapport, Cote d'Ivoire, 2013.
- [10] L.Tujague-gibourg and P. Moustrier, «Dominants et dominés en économie de plantation dans le centre-est de la Côte d'Ivoire: le cas des producteurs de tomates (1990-2000)», *Revue tierce monde*, vol. 2, n°198, pp. 407-420, 2009.
- [11] S. Y. Useni, K. M. Chukiyabo, K. J. Tshomba, M. E. Muyambo, K. P. Kapalanga, N. F. Ntumba, A. K. P. Kasangji, K. Kyungu, L. L. Baboy, K. L. Nyembo and M. M. Mpundu Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays* L.) sur un ferralsol du sud-est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, vol. 66, pp. 5070 –5081, 2013.
- [12] M. G. Goka, R. T. Mensah, M. Dufrechou and S. D. Karou, «importance socio-economique de la production et propriétés nutritionnelles de la tomate (*solanum lycopersicum* L.) au togo: synthèse bibliographique socio-economic importance of tomato (*solanum lycopersicum* L.) production and nutritional properties in togo: literature review,» Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé, vol. 23, n°3, pp. 89 – 104, 2021.
- [13] H. Chishesa, «Production de la tomate, contraintes et opportunités en territoire de Walungu, Sud-Kivu à l'Est de la RD Congo,» *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 23, n°1, pp. 15 - 27, 2016.
- [14] A. Babo, «Opportunités sociales et économiques et développement du vivier marchand à Bouaké (Cote d'Ivoire),» *Cahiers Agricultures*, vol. 15, n°3, pp. 279-283, 2006.

- [15] A. Diarra, C. D. Guy and L. G. Sékongo, «Crise de l'eau potable en milieu urbain: cas de la ville de Daloa,» *Revue de Géographie*, vol. 5 n°2, pp. 1-20, 2016.
- [16] D. Soro, A. Touré, K. L. A. S. Tano and T. Koné, «Agronomic evaluation of local soil-less growing substrates based on rice and cocoa residues in tomato cultivation in Côte d'Ivoire,» *International Journal of Scientific Research*, vol.10, n°1, pp. 53 – 57, 2021.
- [17] A.J. Walkley and I. A. Black, «Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method,» *Soil Science*, vol. 37, pp. 29 – 38, 1934.
- [18] International Institute of Tropical Agriculture, Annual Report International Institute of Tropical Agriculture, IITA, 1990.
- [19] Touré, Ambéyin, Utilisation des produits résiduaires agroindustriels dans la restauration de la productivité des sols dans la région du Haut- Bassandrea (Côte d'Ivoire), 2024. [Online] Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12177/12831> (1 Août, 2025).
- [20] D. Fanguero, M. Gusmao, J. Grilo, G. Porfirio, E. Vasconcelos and F. Cabral, «Proportion, composition and potential N mineralisation of particle size fractions obtained by mechanical separation of animal slurry,» *Biosystems Engineering*, vol. 106, n°4, pp. 333 – 337, 2007.
- [21] R. Majdoub, Y. M'Sadak, A. B. Salem, K. Gazze and E. Dhakouani, «Contribution à l'évaluation du maintien en état de fonctionnement des aménagements de conservation des eaux et du sol en banquette (Tunisie littorale semi-aride)», *Revue des Régions Arides*, numéro spécial, n°35, pp. 957 – 964, 2013.
- [22] Kouassi, Koffi Guillaume, Evaluation de différents fertilisants sur la croissance et le développement de pépinières de cacaoyer (*Theobroma cacao L.*) élevées sur différents substrats, 2012. [Online] Available: <https://www.researchgate.net/publication/320036285> (5 Août, 2025).
- [23] W. X. Wu, M. Yang, Q. B. Feng, K. McGrouther, H. L. Wang, H. H. Lu and Y. X. Chen, «Chemical Characterization of Rice Straw-Derived Biochar for Soil Amendment,» *Biomass and Bioenergy*, vol. 47, pp. 268 - 276, 2012.
- [24] M. Laghari, R. Naidu, B. Xiao, Z. Hu, M. Saffar, M. Hu, M. N. Kandhro, Z. Chen, D. Guo, Q. Jogi, Z. N. Abudi and S. Fazal, «Recent developments in biochar as an effective tool for agricultural soil management: review,» *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 96, n°15, pp. 4840 – 4849, 2016.
- [25] D. J. P. Lompo, L. Yé, S. Ouedraogo, S. I Sori and H. B. Nacro, «Caractérisation chimique d'un biocharbon de balles de riz destiné à l'amendement des sols au Burkina Faso,» *Afrique Science*, vol. 18, n°1, pp. 216 – 222, 2021.
- [26] R. R. Dominguès, P. F. Trugilho, C. A. Silva, I. C. N. A. D. Melo, L. C. A. Melo, Z. M. Magriotis and M. A. Sanchez-Monedero, «Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits,» *PLoS One*, vol. 12, n°5, pp. 1 - 19, 2017.
- [27] Titouna, Dalila, *Etude numérique de la solution nutritive dans un milieu poreux: cas de la laine de roche Floriculture et expert*, 2011. [Online] Available: <https://theses-algerie.com/2263872465871926/these-de-doctorat/universite-mustapha-ben-boulaïd-batna-2/etude-numerique-de-la-solution-nutritive-dans-un-milieu-poreux-cas-de-la-laine-de-roche-floriculture-et-expert> (29 Juillet, 2025).
- [28] O. K. Faye, L. G. Ndiaye and B. Sarr, «Etude comparative de la digestion anaérobie entre pulpes de la pomme de cajou, bouse de vache et leur co-digestion,» *Journal de physique de la SOAPHYS*, vol. 2, n°1, pp. 1 - 8, 2020.
- [29] Bossut, Antoine, *Création d'un produit pépinière prêt-à-poser à destination des consommateurs urbains*, 2018. [Online] Available: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02080776v1> (2 Août, 2025).
- [30] Morel, Poncet and Rivière, *Les supports de culture horticoles*, Ed. INRA, 2000.
- [31] L. K. Koko, R. G. Yoro, A. N'Goran and K. Assa, «Evaluation de la fertilité des sols sous cacaoyers dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire,» *Agronomie Africaine*, vol.20, n°1, pp. 81 – 95, 2008.
- [32] A. J. A. Kotaix, P. T. K. Angui, C. Z. K. Pierre, N. Diby, D. Dao and B. Bonfoh, «Effet de l'engrais organique liquide «dragon 1», sur le développement de la tomate au sud et au centre-ouest de la côte d'ivoire,» *Agronomie Africaine*, vol. 25, n°1, pp. 37 – 52, 2013.
- [33] Guérineau, la culture du fraisier sur substrat, Ed. CTIFL, 2003.