

Valorisation des eaux usées domestiques en agriculture urbaine par culture hydroponique de la laitue (*Lactuca sativa* L)Adrienne Njomou Chimi¹, Martin Lekeufack^{1,*}, Diane Fowoung¹, Justine Mireille Fotsa¹, Amandine Elodie ManekeuTanetsa¹, Marcelle Léonce Tsimi Edzigui¹, François Nguetsop¹, Théophile Fonkou¹¹ *Unité de Recherche de Botanique Appliquée, Faculté des Sciences, Université de Dschang, BP: 67, Dschang, Cameroun*

Mots clés	Résumé
Effluent ; Dispositif de culture hydroponique ; <i>Lactuca sativa</i> ; Agriculture urbaine ; Station d'épuration de Messa.	L'activité agricole, tel que pratiquée dans les bas-fonds de la ville de Yaoundé suscite de nombreuses inquiétudes quant au site d'exploitation et à la qualité douteuse des eaux utilisées. Le présent travail a pour objectif d'évaluer les possibilités d'utilisation des effluents d'une station d'épuration dans la culture hydroponique de la laitue (<i>Lactuca sativa</i> L.) en agriculture urbaine. Le dispositif expérimental mis en place est celui en bloc complètement randomisé avec trois répétitions. Les traitements appliqués aux laitues ont été : l'effluent brut (T1), l'effluent dilué à 50% (T2) et à 75% (T3), une solution d'engrais chimique (T4) Maxigro 10-5-14 à une dose de 100 g pour 50 l d'eau de robinet considéré comme témoin positif et de l'eau de robinet considéré comme témoin négatif (T5). Les paramètres de croissance (hauteur des plants, nombre de feuilles et surface foliaire) des laitues ainsi que leurs teneurs en chlorophylles, fibres, et protéines ont été évaluées ; les résultats obtenus montrent que T3 et T4 ont amélioré significativement ($P<0,05$) les paramètres de croissance (18,96 cm et 16,37 cm pour la hauteur des plants, 9,87cm et 11,65 cm pour la longueur des feuilles, 7,41 et 7,49 pour le nombre de feuilles, 68,33 cm ² et 47,51cm ² pour la surface foliaire, respectivement). T3 et T4 ont le plus amélioré nettement la teneur en chlorophylle a, protéines et fibres avec respectivement 36,54 et 25,90 ppm pour chlorophylle a, 26,85 et 26,21 % pour protéines et 1,53 et 1,34 % pour les fibres. T3 a obtenu les meilleurs paramètres physiologiques et organo-minéraux après T4. Les résultats obtenus révèlent que les eaux usées traitées et la culture hydroponique présentent un potentiel de non négligeable qui pourrait intéresser les agriculteurs.
Keywords: Effluent; Hydroponic cultivation system; <i>Lactuca sativa</i> ; Urban agriculture; Messa wastewater treatment plant.	Abstract Agricultural activity, as practised in the lowlands of the city of Yaoundé, gives rise to many concerns about the site of operation and the dubious quality of the water used. This work has the aim to assess the possibilities of using effluent from a wastewater treatment plant for hydroponic cultivation of lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L.) in urban agriculture. The experimental set-up was a completely randomised block design with three replications. The treatments applied to the lettuces were: raw effluent (T1), effluent diluted to 50% (T2) and 75% (T3), a solution of chemical fertilizer (T4) Maxigro 10-5-14 at a dose of 100 g for 50 l of tap water considered as a positive control and tap water considered as a negative control (T5). The growth parameters (plant height, number of leaves and leaf area) of the lettuces were evaluated along with their chlorophyll, fibre and protein content. The results show that T3 and T4 significantly improved ($P<0.05$) the growth parameters (18.96 cm and 16.37 cm for plant height, 9.87 and 11.65 for leaf length, 7.41 and 7.49 for number of leaves, 68.33 cm ² and 47.51 cm ² for leaf area, respectively). T3 and T4 showed the greatest improvement in chlorophyll a, protein and fibre content, with 36.54 and 25.90 ppm for chlorophyll a, 26.85 and 26.21% for protein and 1.53 and 1.34% for fibre, respectively. T3 obtained the best physiological and organo-mineral parameters after T4. The results obtained show that treated wastewater and hydroponics have significant potential that could be of interest to farmers.
Historic Received : 05 October 2023 Received in revised 2 form : 21 December 2023 Accepted : 22 December 2023	

1. Introduction

Le monde connaît actuellement une croissance galopante de sa population [1]. Selon un rapport de l'ONU en 2007 sur l'urbanisation, 60 % de la population des pays en voie de développement vivra en ville en 2030 [2]. Afin de satisfaire les besoins alimentaires de cette population en forte croissance, la production agricole devra doubler en 2030 et quintupler à l'horizon 2050 [3]. En zone urbaine, d'importantes quantités de déchets solides et liquides sont produites

et l'eau potable se raréfie progressivement alors que plus d'eaux usées continuent à être générées [4]. Au regard de la rareté et de la compétition pour les ressources en eau et de l'impact négatif des eaux usées non traitées sur la santé humaine et l'environnement, il est nécessaire de développer des stratégies novatrices pour la gestion de la pollution aquatique en milieu urbain notamment en insistant sur la valorisation [5].

*Corresponding author : Département de Biologie Végétale, Université de Dschang, Faculté des Sciences, B.P: 67 Dschang, Cameroun. Email: leke_martin@yahoo.com, Tel.: +237 697621603.

L'agriculture urbaine développée et en plein essor ces dernières années, apparaît comme une alternative pour lutter contre la pauvreté en valorisant les sous-produits de l'épuration des eaux usées [6, 7]. En effet, la pratique écologique de l'agriculture en milieu urbain participe à l'assainissement par l'utilisation comme engrais des déchets recyclés, des boues d'épuration stabilisées et des eaux usées traitées [8]. Les producteurs urbains pratiquent le maraîchage de façon continue sur les mêmes parcelles à cause de l'insuffisance de terres cultivables [9]. Pour accroître le rendement de leurs cultures, ces producteurs sont obligés d'apporter de nombreux types d'engrais et autres pesticides à fortes doses et à des fréquences élevées [10]. L'emploi excessif des fertilisants et pesticides dans les zones urbaines et périurbaines a été décrit comme dangereux au développement des productions légumières dans les pays africains [11, 12].

La ville de Yaoundé au Cameroun, comme d'autres agglomérations des pays en développement, a été marquée au cours de ces trois dernières décennies par une augmentation exponentielle de sa population estimée à 3 555 257 d'habitants [13]. Cette démographie galopante a eu pour corollaire la densification de l'espace urbain, et la forte pression exercée sur les ressources naturelles. Dans ce climat de paupérisation ambiante, de nombreux citadins développent des solutions endogènes et novatrices pour résoudre leurs problèmes de logement, d'emploi et de nutrition. Dans cet élan de survie, la colonisation des bas-fonds marécageux à des fins agricoles, avec une nette prédominance du maraîchage semble assez marquée [14]. Cette activité très répandue dans les bas-fonds marécageux de Yaoundé contribue à la sécurité alimentaire et offre des opportunités à l'instar de l'insertion économique des populations en difficulté, la diminution des risques d'inondation, la création d'espaces récréatifs et l'assainissement de l'environnement [14 ; 15]. Malgré ces différents atouts qui militent en faveur de sa valorisation, le maraîchage tel que pratiqué dans ces bas-fonds suscite de nombreuses inquiétudes au regard du site d'exploitation et de la qualité des eaux utilisées. En effet, 92% de maraîchers dans cette ville utilisent d'importantes quantités de fientes et d'eaux usées pour amender leurs champs et associent à cela des engrais chimiques et des pesticides de synthèse pour la protection de leur culture [15 ; 16]. De plus les espaces occupés par les maraîchers sont progressivement réduits au profit des constructions urbaines. Au regard de la rareté des terres cultivables, qualité du site et des eaux qui sont utilisées en agriculture urbaine et en vue de la modernisation de celle-ci dans un contexte de développement durable, le présent travail a pour but la mise sur pieds d'un dispositif hydroponique fonctionnel et l'évaluation de l'effet des eaux usées traitées sur la croissance et la composition organo-minérale des laitues.

2. Matériel et méthodes

2.1. Site d'étude

Les expérimentations ont été conduites au quartier Essos, situé à 3,8761863 de latitudes Nord, à 11, 5488447 de longitudes Est (UTM¹) et 762 m d'altitude. Le climat qui y règne est de type tropical caractérisé par une alternance de deux saisons sèches et deux saisons de pluie ; la grande saison sèche va de mi-novembre à mi-mars, la petite saison pluvieuse va de mi-mars à mi-juin, la petite saison sèche va de mi-juin à mi-août et la grande saison pluvieuse va de mi-août à mi-novembre. La ville de Yaoundé s'étend sur 310 km² avec une superficie urbanisée de 183 km². Elle abrite une population estimée en 2020 à 4 100 000 habitants, soit une densité moyenne de 13 486 hab/km² avec 775 911 logements en 2017. Le taux de croissance de cette ville, était de

près de 5,3% par an entre 2001 et 2015 et de 5,7% entre 2015 et 2020 [17]. Parmi les 13 stations d'épuration des eaux usées qui existaient entre 1967 et 1990, presque toutes sont dysfonctionnelles. Cependant, depuis 2010, trois de ces stations ont été restaurées (Grand Messa, Cité Verte et Biyem-Assi). Les effluents de l'expérimentation ont été prélevés à la sortie de la station d'épuration des eaux usées Grand Messa (lieu de rejet des eaux usées traitées dans le cours d'eau la Mingoa).

2.2. Fonctionnement de la culture hydroponique

Le dispositif hydroponique utilisé était un dispositif gravitaire avec recirculation de l'eau (Figure 1). Le plan de culture a été monté de manière inclinée (5%) pour faciliter l'écoulement de la solution nutritive par gravité et aussi pour améliorer son oxygénation et réduire son échauffement [18]. Le dispositif était constitué de cinq grands réservoirs contenant les solutions nutritives. Chaque réservoir alimentait les jeunes plantules via un tuyau connecté au robinet de réservoir. Ce tuyau fut connecté à une série de tuyaux plus fins afin de distribuer la solution nutritive équitablement le long des bouteilles alignées. Ce fin tuyau a été perforé et introduit le long de la série des bouteilles de manière à faire goûter l'eau au pied de chaque plantule. Ainsi, lorsque le robinet est ouvert, l'eau passe par le grand tuyau et distribue aux tuyaux plus fins qui à leur tour goutent au pied de chaque pied de laitue. L'excédent d'eau coule le long de chaque bouteille et se reverse dans le tuyau collecteur qui l'achemine dans le réservoir récupérateur ; grâce à la pompe hydraulique contenue dans ce dernier, l'eau a été pompée dans le réservoir principal. Le dispositif utilisé est un dispositif en bloc complètement randomisé avec trois répétitions. Le support de culture est constitué d'un hangar, construit avec des lattes et des planches à l'intérieur duquel ont été disposées des bouteilles plastiques de 1,5 l remplies de fibres de coco (Figure 1). Elles ont été montées dans le dispositif respectant une pente de 5% et emboîtées les unes dans les autres pour permettre l'écoulement des solutions nutritives : l'effluent brut (T1), l'effluent dilué à 50% (T2) et à 75% (T3), une solution d'engrais chimique (T4) Maxigro 10-5-14 à une dose de 100 g pour 50 l d'eau de robinet considéré comme témoin positif et de l'eau de robinet considéré comme témoin négatif (T5). Chaque bouteille plastique a été alimentée par un fin tuyau afin de permettre une distribution équitable de la solution nutritive. Cinq seaux de 50 l ont été placés en amont pour la distribution de la solution et en aval, les seaux de 25 l ont été disposés pour recueillir le reste de solution nutritive qui sera par la suite reversée dans les grands seaux de 50 l par pompage grâce à une pompe hydraulique ; Ce processus a été effectué tous les jours en matinée et en soirée jusqu'à la récolte. L'espacement entre les plants a été de 10 cm sur la ligne et 30 cm entre les lignes avec une unité expérimentale de 2,67 m². Les traitements utilisés pour la culture des laitues ont été constitués de l'eau usée traitée non diluée T1, de l'eau usée traitée diluée à 50 % T2 (25 l d'eau de robinet + 25 l d'eau usée traitée), de l'eau usée traitée diluée à 75% T3 (35 l d'eau de robinet + 15 l d'eau usée traitée), de l'eau de robinet contenant l'engrais chimique Maxigro 10-5-14 (témoin positif) à une dose de 100 g pour 50 l d'eau de robinet et de l'eau de robinet simple T5 (témoin négatif).

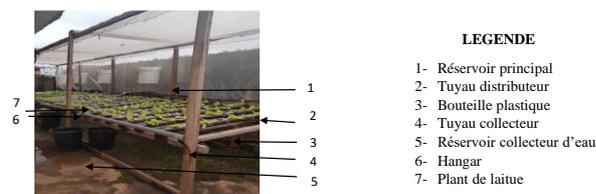


Figure 1 ; Dispositif de l'expérimentation de la culture hydroponique des laitues.

¹ UTM : Universal transversal mercatore

2.3. Caractérisation physico-chimique et bactériologique de l'effluent

Les analyses sont faites suivant les méthodes standards décrites dans « Handbook of wastewater analysis » publié par Hach (2004).

Choix du substrat

Le substrat utilisé dans cette expérimentation a été la fibre du fruit de coco (Figure 2) compte tenu de sa disponibilité et son accès facile dans les marchés. Ce substrat est la référence en culture hydroponique [19]. Il a pour rôle principal dans cette expérimentation de servir de support mécanique pour les plantes. Une quantité suffisante de ce substrat a été obtenue auprès des vendeurs de noix de coco. Elle présente aussi l'avantage d'être poreuse et de ce fait, facilite l'aération des racines et la circulation de la solution nutritive. Ces fibres après avoir été émietées ont été plongées dans de l'eau contenant de l'acide acétique pendant 5 jours puis pressées et séchées au soleil pendant 7 jours. Cette immersion a permis d'éliminer les parasites contenus dans le substrat [19]. Après séchage, le substrat a été mis dans les bouteilles d'eau minérale.

Culture de *Lactuca sativa*

Des jeunes plants ayant une taille moyenne de 6 cm avec 3 à 4 feuilles ont été retirés soigneusement de la pépinière et ses racines nettoyées avec de l'eau de robinet avant d'être introduite dans les bouteilles en insérant les racines jusqu'au collet dans les fibres de coco. Chaque traitement a été constitué de 50 plants avec un espacement de 30 cm entre les lignes et 10 cm sur la ligne. Soit une densité de 187 056 plants/ha. Ces plantes ont été arrosées tous les matins et soirs ; après chaque culture, la disposition des différents traitements a été permutée.



Figure 2 : Aspect des plantes dans le dispositif à la 5^{ème} semaine

3.4. Evaluation de la croissance de *Lactuca sativa* en fonction des traitements

La longueur et la largeur des feuilles (cm) et le nombre des feuilles des plantes cultivées ont été estimés chaque semaine jusqu'à la récolte des plants. La hauteur des plantes, la longueur et la largeur des feuilles ont été mesurées grâce à une règle graduée ; la surface foliaire a été calculée à partir de la formule utilisée par [20] : $SF (cm^2) = L \times l \times 0,75$ où : SF : la surface foliaire ; L (cm) : la longueur moyenne des feuilles et l (cm) : la largeur moyenne des feuilles ; le nombre de feuilles a été obtenu par simple décompte.

3.5. Evaluation des caractéristiques organo-minérales et teneur en chlorophylle des laitues

La mesure des caractéristiques organo-minérales (chlorophylle a et b, protéines, fibres, calcium, fer) de la laitue a été faite à l'Unité de Recherche de Nutrition Animale (URNA) de la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricole (FASA) de l'Université de Dschang.

La teneur en chlorophylle a et b a été évaluée par la méthode décrite par [21] ; la teneur en protéines a été mesurée par la méthode Kjeldahl ; la teneur en fibres, en calcium par complexométrie et la teneur en fer par colorimétrie au thiocyanate de potassium. Les teneurs déterminées ont été comparées aux seuils existants [22 ; 23 ; 2 ; 24].

3.6. Analyses statistiques des données

Les données collectées sur les paramètres de croissance et sur les caractéristiques organo-minérales des laitues ont été compilés dans le tableur Microsoft Excel version 2016. Le logiciel StatGraphics a été utilisé pour faire l'analyse des variances des moyennes de chaque paramètre (ANOVA). Le post-test de Turkey a été utilisé pour séparer les moyennes en cas de différence significative au seuil de 5 %.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des solutions nutritives utilisées

Le Tableau 1 présente les valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux usées traitées utilisées. Il ressort de ce tableau que, l'eau usée traitée brute a eu les plus fortes teneurs pour les différents paramètres analysés. La dilution des eaux usées traitées brutes a réduit la concentration des différents paramètres. La conductivité (en $\mu S/cm$) des eaux a été plus élevée dans le témoin positif T4, suivi du traitement T1. Le traitement T2 a obtenu une conductivité significativement plus faible par rapport à tous les autres traitements à l'exception du contrôle négatif T5. La teneur en MES (mg/L) a été significativement plus élevée au seuil de 5 % dans le traitement T1 et plus faible dans le contrôle négatif T5. La teneur en nitrate (en mg/L) a été significativement plus faible dans le contrôle négatif et le traitement T3. Par contre, elle a été plus élevée dans le contrôle positif. La teneur en phosphates (en mg/L) a été faible dans le traitement T3 par rapport au contrôle négatif sans une différence significative au seuil de 5%. La DBO5 a été plus élevée dans le traitement T1 avec une différence significative par rapport à tous les autres traitements au seuil de 5%. Il n'a existé aucune différence significative entre les traitements pour les valeurs du Ph au seuil de 5%.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des solutions nutritives utilisées pour les cultures

Traitements	COND ($\mu S/cm$)	MES (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Phosphates (mg/l)	DBO5 (mg/l)	pH
T1	223,33±6,50 ^b	7,00±1,00 ^a	3,15±0,65 ^b	0,51±0,09 ^b	5,95±0,85 ^a	7,4±0,43 ^a
T2	133,00±5,00 ^d	5,33±2,51 ^b	2,10±0,50 ^c	0,18±0,01 ^c	3,4±0,26 ^{bc}	7,15±0,49 ^a
T3	170,13±19,85 ^c	3,00±1,00 ^{cd}	0,65±0,15 ^d	0,07±0,01 ^c	4,46±0,81 ^b	7,07±0,28 ^a
T4	693,66±13,05 ^a	4,66±0,57 ^{bc}	6,33±0,47 ^a	6,56±0,27 ^a	3,93±0,42 ^b	7,07±0,16 ^a
T5	152,6±7,35 ^{cd}	2,00±1,00 ^d	0,63±0,30 ^d	0,17±0,10 ^c	2,8±0,36 ^c	7,43±0,50 ^a
F	1225,5	37,64	82,13	1251	12,36	0,58
P	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,68

T1 : eau usée traitée brute ; T2 : eau usée traitée diluée à 50 % ; T3 : eau usée traitée diluée à 75 % ; T4 : eau de robinet contenant de l'engrais (témoin positif) ; T5 : eau de robinet simple (témoin négatif). Les valeurs ayant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %. F : Valeur de Fisher ; P : Valeur de la probabilité.

Le Tableau 2 présente les caractéristiques bactériologiques des différents traitements utilisés. Le traitement T1 a présenté la plus forte concentration en colonies de coliformes de streptocoques fécaux et de *E. Coli* avec une différence significative entre les traitements au seuil de 5%. Le traitement T3 a présenté la plus faible concentration en coliformes et streptocoques fécaux. Le témoin positif et le témoin négatif ont présentés les plus faibles concentrations en *E. coli* sans différence significative au seuil de 5% (Tableau 2).

3.2. Effets des traitements sur la croissance de *Lactuca sativa* L.

Les paramètres de croissance ont varié en fonction des traitements utilisés ; en effet, la hauteur des plantes a été de 12,48 cm pour T1, 12,05 cm pour T2, 16, 37 cm pour T3, 18,96 cm pour T4 et 10,90 cm pour T5.

Le nombre de feuilles a été de 5,4 feuilles pour T1, 5,3 feuilles pour T2, 7,4 feuilles pour T3, 7,41 feuilles pour T4 et 5,76 feuilles pour T5. La surface foliaire a été de 24,11 cm^2 pour T1, 22,82 cm^2 pour T2, 47,51 cm^2 pour T3, 68,33 cm^2 pour T4 et 22,40 cm^2 pour T5.

Les résultats obtenus ont montré qu'à la semaine 5 après transplantation des plants, la hauteur des plants du traitement T1, T2 et T3 a été significativement inférieure ($P < 0,05$) à celle des plants du témoin positif ;

Tableau 2 : Caractéristiques bactériologiques des solutions nutritives utilisées pour les cultures

Trait	Coliformes (ufc/100 ml)	Streptocoques(ufc/100 ml)	E coli(ufc/100 ml)
T1	112±41,50a	166,66±5,77a	500±100a
T2	866,667±105,98b	108,33±18,77b	400±100ab
T3	726±59,57c	71,66±16,07c	313,33±80,82bc
T4	1014,33±61,02a	97,33±12,50bc	233,33±57,73c
T5	1036,33±64,63a	103,66±20,42b	213,33±51,31c
F	15,04	15,04	6,58
P	0,0003	0,0003	0,0073

T1 : eau usée traitée brute ; T2 : eau usée traitée diluée à 50% ; T3 : eau usée traitée diluée à 75% ; T4 : eau de robinet contenant de l'engrais chimique (témoin positif) ; T5 : eau de robinet simple (témoin négatif). Les valeurs ayant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. F : Valeur de Fisher ; P : Valeur de la probabilité.

cependant, celle du traitement T3 a été significativement supérieure ($P < 0,05$) à la hauteur des plants des traitements T1, T2 et à celle du témoin négatif. Par contre, le témoin négatif T5 a obtenu une hauteur relativement inférieure à T1 et T2 mais sans différence significative entre eux. Les plants du traitement T3 (les plants de laitue cultivés avec l'eau usée traitée diluée à 75 %) ont obtenu la meilleure hauteur (16,372 cm) par rapport à T1 et T2. Le nombre de feuilles des plantes de T3 était similaire à celui du témoin positif T4 sans différence significative. Les plantes des traitements T1 et T2 ont été relativement inférieures à celui de témoin négatif ; néanmoins, il n'a pas existé de différence significative entre ces traitements et le témoin négatif. La longueur des feuilles du traitement T3 a été inférieure à celle du témoin positif avec une différence significative à la cinquième semaine. La longueur des feuilles des traitements T1 et T2 a été relativement inférieure à celle du témoin négatif mais sans différence significative. Quant à la surface foliaire chez les plantes du traitement T3, elle a été inférieure à celle du témoin positif avec une différence significative jusqu'à la floraison ; les traitements T2 et T5 ont obtenus une surface foliaire relativement inférieure à celle du traitement T1 sans différence significative entre eux (Tableau 3).

Tableau 3 : Paramètres de croissance en fonction des traitements

Paramètres	Hauteur plante (cm)	Nombre feuilles	Longueur feuilles (cm)	Surfaces foliaires (cm ²)
T1	12,48±0,21c	5,4±0,074b	7,82±0,19c	24,11±7,3c
T2	12,05±0,21c	5,31±0,074b	7,90±0,19c	22,82±7,33c
T3	16,37±0,21b	7,49±0,074a	9,87±0,19b	32,51±7,33b
T4	18,96±0,21a	7,41±0,074a	11,65±0,19a	37,33±7,33a
T5	10,98±0,21c	5,76±0,074b	8,33±0,19c	22,40±7,33c
F	28,75	2,69	14,47	33,92
P	0,0000	0,075	0,0000	0,000001

T1 : eau usée traitée brute ; T2 : eau usée traitée diluée à 50 % ; T3 : eau usée traitée diluée à 75 % ; T4 : eau de robinet contenant de l'engrais chimique (témoin positif) ; T5 : eau de robinet simple (témoin négatif). Les valeurs ayant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. F : Valeur de Fisher ; P : Valeur de la probabilité.

3.3. Effets des traitements sur la constitution organo-minérale des laitues

Teneur en pigments

Le Tableau 4 présente l'effet des différents traitements sur la teneur en chlorophylle a et b des laitues en fonction des différents traitements. La teneur en chlorophylle a (ppm) était de 20,73 pour T1, 21,12 pour T2, 25,90 pour T3, 36,54 pour T4 et 20,12 pour T5. La teneur en chlorophylle b (ppm) était de 14,02 pour T1, 19,89 pour T2, 19,16 pour T3, 21,60 pour T4 et 10,42 pour T5.

La teneur en chlorophylle a été statistiquement plus élevée dans les feuilles de laitue du traitement T4 par rapport au traitement T3 ; les traitements T1 et le témoin négatif T5 ont obtenu des teneurs relativement inférieures à celles du traitement T2 ; cependant, il n'a existé aucune différence significative entre les trois au seuil de 5%. Les feuilles des traitements T2 et T3 ont présentés des teneurs en chlorophylle b relativement inférieures à celles du traitement T4 mais sans différence

significative. Le témoin négatif T5 a eu une teneur en chlorophylle b inférieure à celles de tous les traitements ; Il n'a cependant existé aucune différence significative entre la teneur en chlorophylle b du traitement T1 et celle du témoin négatif (Tableau 4).

Tableau 4 : Teneur en pigments chlorophylliens des laitues en fonction des traitements

Traitements	Chl a (ppm)	Chl b (ppm)
T1	20,73±1,67d	14,02±2,95ab
T2	21,12±1,67cd	19,89±2,95a
T3	25,90±1,67bc	19,16±2,95a
T4	36,54±1,67a	21,60±2,95a
T5	20,12±1,67d	10,42±2,95b
F value	14,79	2,67
P value	0	0,05

Chl a : chlorophylle a ; Chl b : chlorophylle b ; T1 : eau usée traitée brute ; T2 : eau usée traitée diluée à 50% ; T3 : eau usée traitée diluée à 75% ; T4 : eau de robinet contenant de l'engrais chimique (témoin positif) ; T5 : eau de robinet simple (témoin négatif). Les valeurs ayant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. F : Valeur de Fisher ; P : Valeur de la probabilité.

Paramètres organo-minéraux

Le Tableau 5 présente l'effet des différents traitements sur la teneur en protéines, en fibres et en éléments minéraux (calcium et fer). La teneur en protéines (%) a été de 16,13 pour T1, 16,78 pour T2, 26,21 pour T3, 26,85 pour T4 et 18,65 pour T5. La teneur en fibres (%) a été de 1,19 pour T1, 1,03 pour T2, 1,34 pour T3, 1,53 pour T4 et 1,09 pour T5. Quant à la teneur en calcium (mg/100g MS), elle a été de 1021 pour T1, 737,88 pour T2, 864,88 pour T3, 732,88 pour T4 et 1140 pour T5. La teneur en fer (mg/100g MS) a été de 83,12 pour T1, 90,76 pour T2, 96,98 pour T3, 76,53 pour T4 et 92,11 pour T5.

La teneur en protéines des plantes de laitue dans le traitement T3 a été statistiquement identique à celle du témoin positif (T4) ; ces derniers ont été supérieure au témoin négatif (T5) et aux traitements T1 et T2. Par contre, les traitements T1, T2 ont été relativement inférieure au témoin négatif (T5) mais il n'a existé aucune différence significative entre les trois.

Le traitement T4 a présenté une teneur en fibre supérieure à celle du traitement T3 mais sans différence significative. La teneur en fibres du traitement T1 a été supérieure à celle des traitements T2 et T5, cependant, il n'a pas existé de différence significative entre ces traitements.

La teneur en calcium a été relativement supérieure dans les traitements T1 et T5 mais il n'a existé aucune différence significative entre tous les traitements. La teneur en fer a été relativement supérieure dans les traitements T3 et T5 mais il n'a existé aucune différence significative entre tous les traitements (Tableau 5).

Tableau 5 : Effet des traitements sur la teneur en protéines, en fibres et en éléments minéraux

Traitements	Protéine (%)	Fibres (%)	Calcium (mg/100g MS)	Fer (mg/100g MS)
T1	16,13±1,44b	1,19±0,08bc	1021±248,26a	83,12±8,01a
T2	16,78±1,44b	1,03±0,08c	737,88±248,26a	90,76±8,01a
T3	26,21±1,44a	1,34±0,08ab	864,88±248,26a	96,98±8,01a
T4	26,85±1,44a	1,53±0,08a	732,88±248,26a	76,53±8,01a
T5	18,65±1,44b	1,09±0,08c	1140±248,26a	92,11±8,01a
F value	13,06	5,28	0,92	1,01
P value	0	0,0018	0,46	0,41

T1 : eau usée traitée brute ; T2 : eau usée traitée diluée à 50% ; T3 : eau usée traitée diluée à 75% ; T4 : eau de robinet contenant de l'engrais chimique (témoin positif) ; T5 : eau de robinet simple (témoin négatif) ; les valeurs ayant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. F : Valeur de Fisher ; P : Valeur de la probabilité.

Les données obtenues ont montré que la dilution à 75% (35 L d'eau de robinet + 15 L d'eaux usées traitées) correspondant au traitement T3 a permis d'obtenir de meilleurs résultats ; ce traitement a présenté les caractéristiques suivantes : Conductivité : 170,13 $\mu\text{S}/\text{cm}$; MES : 3 mg/L nitrates : 0,65 mg/L ; Phosphate : 0,07 mg/L DBO_5 : 4,46 mg/L ; Ph 7,07. Il a conduit à des améliorations significatives ($P < 0,05$) des paramètres morphologiques de la laitue tels que la hauteur de la plante, le nombre de feuilles, la longueur et la surface foliaire de la feuille.

3.4. Aspects morphologiques des plants à la 7^{ème} semaine

Une montaison et un dessèchement rapide au niveau des feuilles de laitue a été noté la 7^{ème} semaine au niveau des plants traités avec l'engrais NPK 7-21-7 (Figure 3A). Par contre, les feuilles de laitues irriguées avec les eaux usées traitées et l'eau de robinet ont présentés un dessèchement progressif et lent à partir de la 7^{ème} semaine (figure 3B).



Figure 3: État de dessèchement des laitues du témoin positif T4 (A) et du traitement T1(B) à la 7^{ème} semaine

4. Discussion

4.1. Effet des traitements sur les paramètres de croissance des laitues

Le traitement T3 (dilution 75%) dont les caractéristiques sont mentionnées plus haut a permis d'obtenir la meilleure hauteur (16,37 cm) avec une différence significative ($P < 0,05$) au seuil de 5%. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que le meilleur niveau de disponibilité de l'ensemble des éléments nutritifs est obtenu à un pH se situant entre 5,0 et 6,0 [25]. Selon [1], un pH voisin de la neutralité constitue un atout pour une meilleure absorption racinaire des éléments nutritifs. En effet, l'azote contenu dans les nitrates favorise l'élongation et la croissance en hauteur des plantes. Ainsi, le traitement T3 ayant un Ph inférieur à tous les autres (Ph = 7,07) a donc rendu les éléments nutritifs disponible et directement accessible à la plante ; et donc rendrait les ions nitrates qui jouent un rôle primordial dans le métabolisme des plantes directement disponible [26]. Ces résultats corroborent également ceux de [27] qui ont observé une augmentation de la hauteur des plants de cotonniers cultivés avec des fertilisant (fientes de volaille, du tourteau de neem et du compost à base de bouse de bovins) dans la région de l'extrême Nord au Cameroun. Les travaux effectués par [28] ont montré que, pour la hauteur des plants, le traitement avec l'engrais minéral a induit une hauteur significativement plus élevée comparée au compost chez le maïs cultivé en sol. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par [25] qui a obtenu de faibles hauteurs des fraises cultivées en sol avec les eaux usées épurées et les eaux conventionnelles avec les pH de 7,29 et 7,62 respectivement. De même, [31] a obtenue de faibles hauteurs (5 à 11 cm) de laitue cultivée hors sol avec un pH de 7,8 dans des gobelets insérés dans les tuyaux perforés avec comme support de culture du gravier.

Le traitement T3 (dilution 75%) a permis également d'obtenir une surface foliaire, un nombre et une longueur de feuilles supérieure à tous les autres traitements ; ceci pourrait s'expliquer par l'action des cytokinines qui seraient synthétisées en grande quantité au niveau des apex racinaires et qui favoriseraient la division cellulaire, l'initiation et l'extension des feuilles [32]. [33] ont révélé également que les effets stimulants des eaux usées traitées pouvaient être attribués à la présence de nombreux nutriments essentiels tels que N, P, K, Ca et Mg. [34] ont observés une augmentation des paramètres agronomiques (nombre de feuilles et surface foliaire) de la laitue cultivée avec le compost à base de

fientes de poulets. [35] ont indiqué une augmentation du nombre de feuilles de Rosa hybrida irriguée avec les eaux usées épurées. [36] ont montré que l'effet des biofertilisants a été positif sur les plants de laitue au 14^{ème} jour après repiquage, avec les nombres de feuilles significativement différents ($p < 0,05$).

4.2. Effet des traitements sur la composition organo-minérale des laitues

Le traitement T3 a obtenu une teneur en chlorophylle a relativement supérieure à celle des autres traitements avec une différence significative au seuil de 5% ; ceci pourrait s'expliquer par la disponibilité de l'azote dans ce traitement. En effet, l'azote est un constituant essentiel de la chlorophylle selon plusieurs auteurs ; Il joue un rôle essentiel dans la constitution des noyaux cellulaires de la chlorophylle [37]. Ceci pourrait aussi s'expliquer par sa forte concentration en fer (96,98 mg/100g) puisque le fer a pour rôle majeur la synthèse de la chlorophylle et des protéines [37] ; Il en est de même dans le cas de la chlorophylle b. [38] ont montré que l'irrigation avec les eaux usées traitées a entraîné une augmentation significative ($p < 0,05$) des teneurs en chlorophylles par rapport au témoin (eau potable). [39] ont également montré que les eaux usées brutes entraînaient une réduction significative de la chlorophylle totale des plantes de la luzerne, tandis que la luzerne irriguée par les eaux usées traitées présentait une teneur en chlorophylle totale presque similaire à celle de la luzerne irriguée par l'eau conventionnelle. Lorsque l'azote est en abondance, la formation de protéines est favorisée ; en effet, selon [40] l'accroissement des apports azotés entraîne une augmentation de la teneur en protéine brute dans les plantes. La teneur en fer et en calcium n'a pas été significativement différente en fonction des traitements. Le fer est un élément essentiel dans la formation de la chlorophylle, il a un rôle dans le transport de l'oxygène et catalyseur de plusieurs enzymes. Le fer serait absorbé au niveau des racines pour être concentrées vers les feuilles pour la synthèse de la chlorophylle ; en effet, il intervient dans la synthèse des protéines du chloroplaste et une carence en fer provoquerait une perte de Chlorophylle et une dégénérescence des chloroplastes [41, 42] a obtenu la teneur la plus élevée de Fer des plants d'oignon en combinant le fumier de chèvre au biochar tandis que la teneur la plus élevée en calcium a été obtenu en appliquant du biochar seul. L'utilisation des eaux usées traitées seraient bénéfique pour la croissance et l'activité photosynthétique des plantes [18].

Le dessèchement rapide des plants du traitement T4 serait dû à une forte concentration en éthylène qui est une phytohormone ayant pour effet principal la senescence, la chute des organes et l'inhibition de la division cellulaire. Les racines des plantes des traitements T1, T2 et T3 seraient donc plus concentrées en cytokinines, en gibbérellines et en auxines qui sont des phytohormones qui inhibent la senescence des feuilles [30]. Les racines des plantes cultivées avec les eaux usées traitées seraient plus concentrées en ces phytohormones ; ainsi, les traitements T1, T2 et T3 contiendraient des éléments qui favoriseraient la synthèse des cytokinines, des gibbérellines et des auxines.

5. Conclusion

Le traitement constitué de l'eau usée traitée diluée à 75% a permis d'obtenir les meilleurs paramètres physiologiques et organo-minéraux. La culture hydroponique a permis de produire 50 pieds de laitues avec environ 49 litres d'eau pendant six semaines ; elle a également permis un raccourcissement du cycle végétatif des laitues (63 jours au lieu de 70). De même, la culture hydroponique serait une technique de culture bénéfiques pour les grandes métropoles car elle résout le problème d'espace terrien pour l'agriculture urbaine ; la réutilisation des eaux usées traitées permet aussi de réduire voire supprimer l'utilisation des engrais chimiques au vu de leur intérêt agronomique.

Références

- 1 Ondo J. A. 2011. Vulnérabilité des sols maraîchers du Gabon (région de Libreville) : acidification et mobilité des éléments métalliques. Thèse de Doctorat, Université de Provence, France, 324p.
- 2 Temgoua E.H., Ntangmo T. H. R., Pfeifer and Njine T. 2015. Teneurs en éléments majeurs et oligoéléments dans un sol et quelques cultures maraîchères de la ville de Dschang, Cameroun. *African Crop Science Journal*, 23(1), 35 – 44.
- 3 Griffon M. 2013. Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ? Versailles : Éditions Quae, 224 p.
- 4 Carrasco L. et Turner C. D. 2006. Evaluation des techniques de désinfection dans le traitement des eaux usées à traitement primaire avancé pour Ciudad Juárez, Mexique. Wiley online library Tome 78, numéro 1/ page 49-58.
- 5 Dumat C., Xiong T., Tiantian and Shahid M. 2016. *Agriculture urbaine durable : opportunité pour la transition écologique*. Presses Universitaires Européennes, Saarbrücken, DE. ISBN 978-3-639-69662-2.
- 6 Parrot L., Njoya A., Temple L., Assogba K.F., Kahane R., Diao B., Havard M. 2008. Agricultures et développement urbain en Afrique subsaharienne. In Colloque Agricultures et Développement Urbain en Afrique de l'Ouest et du Centre, 2005-1030/2005-11-03, Yaoundé, Cameroun. L'Harmattan, 208 p.
- 7 Conchita M.G., Kédowidé M., Sedogo P., Cissé G. 2010. Dynamique spatio temporelle de l'agriculture urbaine à Ouagadougou : Cas du Maraîchage comme une activité montante de stratégie de survie. *Revue Electronique en Sciences de l'Environnement*. 10 (2) 1492-8442.
- 8 Compaoré E. L.S., Nanema S., Bankoungou et Sedogo M.P. 2010. Évaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture. *Journal of Applied Biosciences*, 33, 2076-2083.
- 9 Sikuzani Y., Cabala K., Halleux J. M., Bogaert J., Munyemba K. 2018. Caractérisation de la croissance spatiale urbaine de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, RD Congo) entre 1989 et 2014. *Tropicultura* 38(1) : 98-108.
- 10 Balasha M. 2017. Évaluation des pratiques phytosanitaires en agriculture urbaine et périurbaine à Lubumbashi : état des lieux et perceptions des risques. Mémoire de maîtrise, Gembloux Agro Bio-Tech, 74 p.
- 11 Diao M.B. 2004. Situation et contraintes des systèmes urbains et périurbains de production horticole et animale dans la région de Dakar. *Cahier Agriculture*, 13(1), 39-49.
- 12 Damalas C., Koutrouba D. 2017. Farmers' training on pesticide use is associated with elevated safety behavior. *Toxics* 5 (3), 19.
- 13 MINSANTE 2016. Projection démographique et estimation des cibles prioritaires des différents programmes et intervention de santé 144p.
- 14 Temple L., Marquis S. et Simon S. 2008. Le maraîchage périurbain à Yaoundé est-il un système de production localisé innovant ? *Revue Economies et Sociétés*, 30, 2209-2238.
- 15 Kenmogne G. R. K., Rosillon F., Mpakam H. G. et Nono A. 2010. Enjeux sanitaires, socio-économiques et environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées dans le maraîchage urbain : cas du bassin versant de l'Abiergué (Yaoundé-Cameroun). *VertigO*, 10, 2, 14 p.
- 16 Fangue-yapseu G., Awa M., Ntapnze M. et Mouafo R. T. 2023. Pratiques d'utilisation des pesticides en agriculture maraîchère de bas-fonds dans la ville de Yaoundé. *La Revue Electronique en Sciences de l'Environnement*, 1492-8442.
- 17 CUY 2015. Stratégie de gestion des eaux usées de la ville de Yaoundé 8p.
- 18 Renata S.C., Joao R C., Claudinei F. S., Reinaldo G. B. 2015. Potentiel des effluents d'eaux usées domestiques traitées comme source de nutriments dans la culture hydroponique de la laitue. *Revue Environnement Eau*, 10 (3), 574-586.
- 19 Hibbi H. et Ouled M. 2016. Synthèses des dérivés des acides carboxyliques – acide acétique et gallique, et détermination de leurs activités antibactériennes. *Mémoire Université D'Adrar en République Algérienne*, 100 P.
- 20 Kumar N., Krishnamoorthy V., Nalina L. and Soorianathasundharam K. 2002. Un nouveau facteur pour estimer la surface foliaire totale chez le bananier. *Infomusa*, 11(2), 42-43.
- 21 Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylls and caroténoids, pigments of photosynthetic biomembranes: R. Douce, L. Packer, (Ed)., *Methods Enzymology*. Academic Press., New York, 148, 350-382.
- 22 Mench M., Baize D. 2004. Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces : mesures pour réduire l'exposition. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 52, 26.
- 23 Lerot B. 2006. Les éléments minéraux, <http://www.orchidstory.be/site/mineraux.pdf>. Consulté le 20/08/2016.
- 24 FAO/OMS. 2016. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires commission du codex alimentarius. Trente-neuvième session, Rome, Italie, p. 16.
- 25 Gauthier M. and Champagne M. 2017. Évaluation de la santé globale des sols santé globale des sols 17p.
- 26 Djillali Y., Benziada S., Chabaca M.N., Bouanani H., Kettab A. 2018. Evaluation expérimentale des rendements des cultures maraîchères irriguées par des eaux usées traitées : cas de fraiser, 9ème congrès national de la Société Algérienne de Chimie USTHB, Alger, poster.
- 27 Yakouba D., Jackson D. D., Aimé C. N., Sidonie F. T., Gilbert H et Alidou M. 2022. Effets des fientes de volaille, du tourteau de neem [*azadirachta indica* (A. Juss)] et du compost à base de bouse de bovin sur la croissance et le rendement du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) et sur les propriétés physico-chimiques du sol dans la localité de Zokok-Ladéo de la région de l'Extrême-Nord au Cameroun Afrique. *Science* 21(4), 138 – 149.
- 28 Faye A., Saïdou N. S., Cheikh T. 2023. Caractérisation biochimique et potentiel de fertilisation de composts innovants produits par les petits producteurs de la Vallée du Fleuve Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 182, 18877– 18890.
- 29 Ammari A. 2019. Essai sur la culture de laitue (*Lactuca sativa*) sous un système hydroponique dans la région de Ouragla. *Université Kasdi Merbah-Duargla*, 80P.
- 30 Tayeb K. 1994. Relation entre la teneur en acide abscissique des bourgeons latens de vigne (*Vitis Vinifera* L. var. Merlot noir) et leur teneur en eau. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 28 (3), 203-211.
- 31 Uzma S., Azizullah A., Bibi R., Nabeela F., Muhammad U., Ali I., Rehman Z., Ur Häder D. 2016. Effects of industrial wastewater on growth and biomass production in commonly grown vegetables. *Environ. Monit. Assess.*, vol. 188, n°. 6, pp. 328-341.

- 32 Marinho D., Tonetti A. T., Coraucci B. 2013. Application of reclaimed wastewater in the irrigation of rose bushes. *Water, Air and Soil Pollution*. 224, 1-7.
- 33 Estevez B. 2006. L'importance des éléments mineurs : des carences à la toxicité une préoccupation en agriculture biologique ; Syndicat de production des graines biologiques du Québec 25 P.
- 34 Konate Z., N'ganzoua K. R., Bi Zro F. G., Bakayoko S., Camara M. 2022. Effet de différentes doses de compost de fiente de poulet sur la fertilité des sols et les paramètres agronomiques de la laitue (*Lactuca sativa* L.) *Agronomie Africaine Sp*. 34 (1), 117 – 131.
- 35 Wafa S. Zoubeir B. et Ali A. 2010. Impact de l'irrigation par les eaux usées traitées sur certains paramètres morpho-physiologiques de *Salix babylonica* L. *Annales de l'INRGRF* (2010), 14 (Numéro spécial), 335 -344.
- 36 Salla M., Abobi A. H. D., Coulibaly S., Traore K., Traore M. M. 2022. Effets de biofertilisants à base de *Tithonia diversifolia* et de *Thevetia nerifolia* sur la production de la laitue en Côte d'Ivoire. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires* p- ISSN : 2028-991X.
- 37 Souleymane D., Lassina S., Issaka A. Y., Lambienou Y. E et Zouzou M. 2023. Effet des broyats des émondes de *gliricidia sepium* comme source d'azote sur la production céréalière et les propriétés du sol en zone soudanienne du Burkina Faso. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 41, 98 – 122.
- 38 Elfanssi S., Ouazzani N., Mandi L. 2018. Soil properties and agro-physiological responses of alfalfa (*Medicago sativa* L.) irrigated by treated domestic wastewater. *Agricultural Water Management*, 202, 231-240.
- 39 Malak M. Z. 2021. Effet du traitement électromagnétique des eaux non conventionnelles (salines et eaux usées traitées) sur les sols et les plantes. Institut National Agronomique de Tunisie ; Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Université de Carthage. 246p.
- 40 Kambire S. J. 2022. Etude de l'impact de la fertilisation minérale sur la composition chimique et la teneur en tanins condensés de fourrages issus de prairies à haute valeur biologique. Unité de Zootechnie Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech Université de Liège Passage des déportés, 25030 Gembloux Belgique 58p.
- 41 Georgina M. 2010. Paramètres photosynthétiques affectant le transport d'électrons à travers le pool de plastoquinone: la densité des photosystèmes I, le contenu de chlorophylle et l'activité d'une plastoquinol-oxydase. Faculté des Sciences de l'Université de Genève Thèse de Doctorat. 218p.
- 42 Mounirou M.M. 2022. Effet comparé de la fertilisation à base de biochar, engrais organique et engrais chimique sur les éléments minéraux et la production de l'oignon (*Allium cepa* L.). *European Scientific Journal*, 18 (24), 47.