

Evaluation des paramètres anatomiques et biochimiques des laitues (*Lactuca sativa*) indiquant l'état de pollution des sites de cultures dans la ville de Daloa (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire)

ANGAMAN Djédoux Maxime, AYOLIE Koutoua, EHOUMAN Ano Guy Serge, and KONIN Konin Gérard Dreyfus

Université Jean Lorougnon Guédé, Unité de Formation et de Recherche en Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2019 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: Various activities taking place in urban areas lead to the emission of a number of polluting substances that have adverse effects on the environment and ecosystems and contribute to the deterioration of the quality of the air, the soil and water. The plants grown there suffer damage due to pollution, which has the effect of negatively affecting their morphological, physiological and biochemical properties. This study was conducted to evaluate the pollution of some lettuce crop sites in the city of Daloa (Côte d'Ivoire) by measuring anatomical and biochemical parameters of lettuce (*Lactuca sativa*). These include stomatal density and opening, relative water content, pH, ascorbic acid content, chlorophyll, and carotenoid.

These parameters made it possible to calculate the lettuce Air Pollution Tolerance Index (APTI). The results showed a reduction in stomatal density and opening, as well as pH, ascorbic acid and chlorophyll content for sites 1 and 2 in downtown of Daloa compared to site 3 located, farther away from the city center. Site 1 has an average carotenoid content (31.23 mg/g) of lettuce significantly lower than that of sites 2 and 3 which is respectively 59.70 mg/g and 58.97 mg/g. Also, significant reductions of 8.25% and 9.5% in the relative water content of lettuce at site 3 compared to sites 1 and 2 were observed. The calculation of APTI revealed the relative sensitivity of lettuce in sites 1 and 2 to pollution, compared to site 3. This study shows that sites 1 and 2 have a high risk of pollution, compared to site 3 with regard to the different parameters evaluated.

KEYWORDS: Pollution, lettuce, stomata, ascorbic acid, chlorophyll, carotenoids, pH, APTI.

RESUME: Diverses activités qui ont lieu dans les zones urbaines entraînent l'émission de bon nombre de substances polluantes qui ont des effets néfastes sur l'environnement, les écosystèmes et contribuent à mettre à mal la qualité de l'air, du sol et de l'eau. Les plantes qui y sont cultivées subissent des dommages dus aux pollutions, ce qui a pour conséquence d'affecter négativement leurs propriétés morphologiques, physiologiques et biochimiques. Cette étude a été menée en vue d'évaluer la pollution de certains sites de culture de laitues dans la ville de Daloa (Côte d'Ivoire), par la mesure de paramètres anatomiques et biochimiques des laitues (*Lactuca sativa*). Il s'agit de la densité et l'ouverture des stomates, la teneur relative en eau, le pH, la teneur en acide ascorbique, en chlorophylles, ainsi que la teneur en caroténoïdes. Ces paramètres ont permis de calculer l'indice de tolérance des laitues à la pollution de l'air. Les résultats obtenus ont révélé une réduction de la densité et de l'ouverture des stomates ainsi que du pH, de la teneur en acide ascorbique et en chlorophylles pour les sites 1 et 2, situés au centre-ville de Daloa par rapport au site 3 situé, éloigné du centre-ville. Le site 1 présente une teneur moyenne en caroténoïdes (31,23 mg/g) des laitues nettement inférieures à celle des sites 2 et 3 dont les teneurs sont respectivement de 59,70 mg/g et 58,97 mg/g. Aussi, des réductions significatives de 8,25 % et 9,5 % de la teneur relative en eau des laitues du site 3 par rapport aux sites 1 et 2 ont été observées. Le calcul de l'APTI a permis de révéler la sensibilité relative des laitues des sites 1 et 2 à la pollution, par rapport au site 3. Il ressort de cette étude que les sites 1 et 2 présenteraient un haut risque de pollution, par rapport au site 3 au regard des différents paramètres évalués.

MOTS-CLEFS: Pollution, laitues, stomates, acide ascorbique, chlorophylles, caroténoïdes, pH, APTI.

1 INTRODUCTION

L'augmentation des activités anthropogéniques a entraîné l'intensification de l'émission de diverses substances polluantes dans l'environnement (Agbaire & Akporhonor, 2014). Ces substances ont eu pour effet de dégrader la qualité de l'air, du sol et de l'eau. Les principaux polluants rencontrés dans l'atmosphère urbaine sont : les oxydes d'azote (NO et NO₂), le monoxyde de carbone (CO), les composés organiques volatils (COV), ainsi que les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) (Chapelle, 2013). Plusieurs activités sont à la base de cette pollution atmosphérique ; ce sont entre autres, le trafic routier, les industries et la mise en décharge des déchets (Lohe *et al.*, 2015). Malgré cette forte exposition des zones urbaines aux diverses pollutions, force est d'y constater l'expansion de l'agriculture. En effet, dans la plupart des villes d'Afrique tropicale, l'activité agricole est bien visible (Boulianne, 1999). A l'intérieur du périmètre urbain ainsi que dans la banlieue, des espaces libres sont souvent transformés en jardins et champs, dans lesquels l'on fait pousser du maïs, du manioc, du piment, du gombo, ainsi que des légumes tels que l'amarante, le céleri et la laitue (Tchiadjé, 2007). Cette évolution rapide des potagers urbains aide à garantir une autosuffisance alimentaire des citoyens en légumes frais (Olahan, 2010).

La ville de Daloa, chef-lieu de région du Haut-Sassandra n'est pas en marge de cette agriculture urbaine. Il existe en effet plusieurs sites de cultures maraichères repartis sur toute l'étendue de la ville, qui permettent l'approvisionnement des différents marchés de la cité. Toutefois, malgré l'utilité des maraîchers urbains il reste à s'assurer que les pollutions urbaines ne constituent pas un obstacle à la qualité de la production maraichère. En effet, les polluants émis dans l'atmosphère urbaine contaminent les produits agricoles en générale et les légumes feuilles tels que la laitue (*Lactuca sativa*) en particulier (Säumel *et al.*, 2012). Une étude menée par Uzu *et al.* (2009) a révélé que la laitue accumulerait les polluants issus de son environnement, tel que les métaux lourds. Aussi, la sensibilité relative de cette culture aux polluants gazeux comme le dioxyde de soufre (SO₂) et le nitrate de peroxyacétyle (CH₃COO₂NO₂) a été révélée lors d'une étude diagnostique réalisée sur l'évaluation de la pollution par les particules fines et leurs constituants (ASPA, 2001). La laitue pourrait donc représenter un bon indicateur de pollution des sites urbains de cultures maraichères. C'est dans cette optique que cette étude est entreprise. Elle a pour objectif général d'évaluer la pollution des sites de culture de laitues par la mesure de paramètres anatomiques et biochimiques des laitues.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITES D'ÉTUDE

L'étude a porté sur trois sites de production de laitue, appartenant à des particuliers. Ils sont tous situés dans la ville de Daloa. Le site 1 (6°52'55.7"N, 6°27'13.3"W) et le site 2 (6°52'51.9"N, 6°26'42.5"W) sont situés au quartier commerce, présentant un trafic routier quasi permanent et plusieurs sources de pollution (décharges, eaux usées etc.). Le site 1 est situé dans un basfond et à proximité de deux axes bitumés. Le site 2 est également situé dans un basfond non loin de quelques habitations. Le site 3 (6°52'08.7"N, 6°25'59.2"W) est localisé au quartier Fadiga, à proximité de quelques domiciles (Figure 1). Les cultures sont effectuées à ciel ouvert. Les sources d'irrigations sont des rigoles qui recueillent l'eau des pluies.

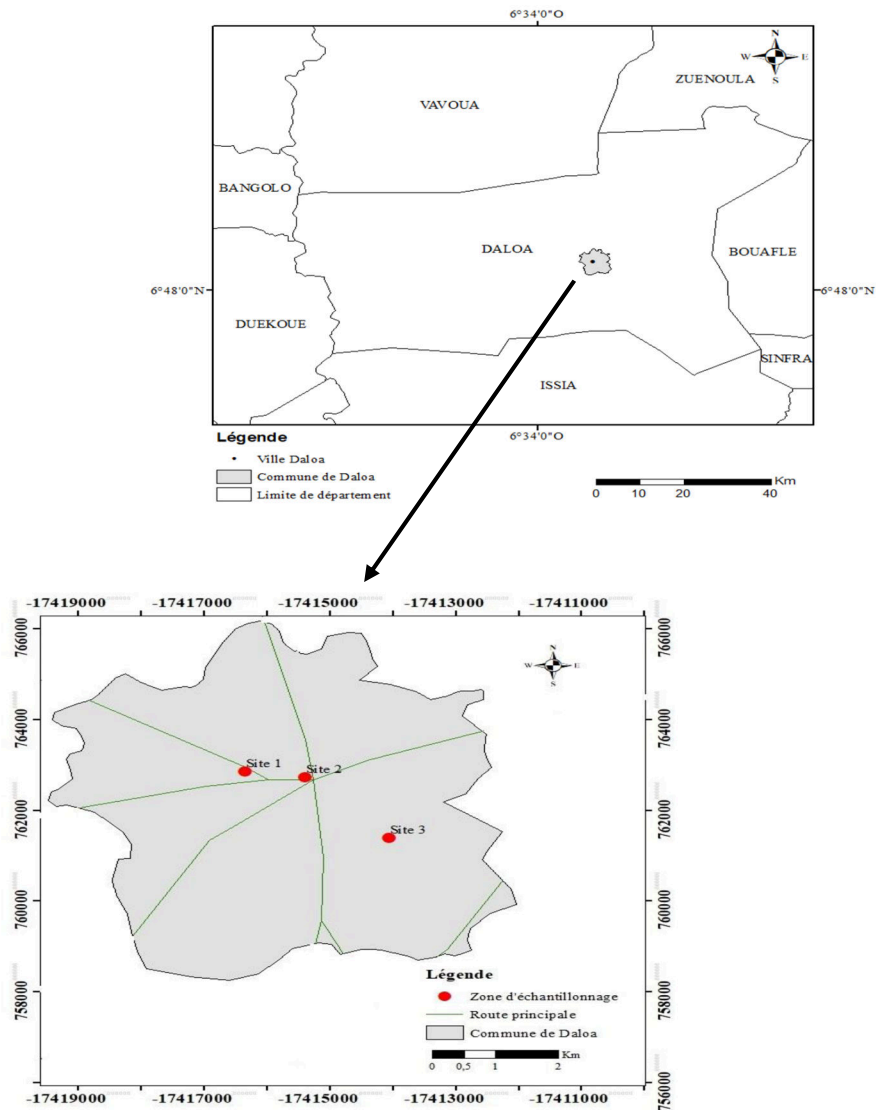


Fig. 1. Sites d'étude

2.2 CHOIX DE LA CULTURE

L'étude a porté sur les échantillons de laitues Iceberg de la variété *capitata*. Cette variété a été choisie à cause de sa large répartition sur la plupart des maraichers de la ville de Daloa. Eu égard à son caractère d'accumulateur de polluants divers (Säumel *et al.*, 2012), elle pourrait donc représenter un bon indicateur de pollution.

2.3 PRISE D'EMPREINTES DE STOMATES DE FEUILLES DE LAITUES

Les empreintes de stomates des feuilles de laitues ont été prises grâce à la méthode décrite par Koffi *et al.* (2014). Une feuille saine adulte de chaque plant de laitue a été choisie pour déterminer la densité, ainsi que la longueur et la largeur de l'ouverture des stomates. La face inférieure de la feuille est nettoyée à l'eau distillée et égouttée avec du papier buvard. Une partie de cette face est recouverte par une mince couche de vernis à ongle incolore, tout en évitant de recouvrir la nervure centrale de la feuille et laissée sécher pendant 15 à 20 minutes. Après séchage, le vernis est détaché méticuleusement à l'aide d'un ruban adhésif transparent puis collé sur une face propre d'une lame de verre étiquetée. Pour chaque plant de laitue, une feuille est prise au hasard et trois empreintes de stomates y sont collectées.

2.4 DÉTERMINATION DE LA TENEUR RELATIVE EN EAU DES LAITUES

La teneur relative en eau (TRE) des feuilles de laitues est déterminée à partir de la méthode décrite par Liu & Ding (2008). Après détermination de la masse fraîche (MF), la masse de turgescence (MT) et de la masse sèche (MS) de chaque feuille de laitue, la TRE est calculée à partir de la formule suivante :

$$\text{TRE \%} = \left[\left(\frac{\text{MF} - \text{MS}}{\text{MT} - \text{MS}} \right) \right] \times 100$$

La masse fraîche (MF) est obtenue en pesant directement la feuille fraîche de laitue après nettoyage. La feuille est ensuite immergée dans de l'eau distillée pendant 24 heures, égouttée dans du papier buvard puis pesée pour obtenir la masse de turgescence (MT). Elle est enfin séchée à 70°C dans une étuve pendant 24 heures, et pesée pour l'obtention de la masse sèche (MS).

2.5 MESURE DU PH DES LAITUES

Le pH des laitues a été déterminé par la méthode décrite par Agbaire (2009). Cinq (5) grammes de feuilles fraîches de laitue ont été broyées puis homogénéisées dans 10 mL d'eau distillée. L'extrait est filtré et le pH est déterminé après calibrage du pH-mètre avec une solution tampon de pH = 7 à 25° C.

2.6 DOSAGE INDIRECTE DE LA VITAMINE C DES LAITUES PAR IODOMÉTRIE

La méthode utilisée est celle décrite par Bul-Nguyen (1980) reprise par Elgamouz (2016). Dix grammes (10g) de feuilles de laitue sont pesées et broyées dans un mortier avec 5 mL d'eau distillée. L'extrait est filtré dans un bécher de 10 mL. Après avoir laissé reposer l'extrait à l'obscurité pendant une demi-heure environ, une portion de 2 mL est prélevée dans un bécher avec un ajout de 2,5 mL d'eau distillée (Katz, 2013). Ensuite, 5 mL de la solution de diiode est additionné au mélange et homogénéisée, 3 gouttes d'empois d'amidon y sont ajoutées, le mélange prend alors une coloration bleu-vert d'intensité variable due à l'excès de diiode. Cet excès est donc dosé avec la solution de thiosulfate de concentration 5.10^{-3} mol.L⁻¹, jusqu'à la disparition de la coloration bleue due au complexe formé entre l'iode en excès et l'empois d'amidon.

2.7 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN CHLOROPHYLLES DES LAITUES

La teneur en chlorophylles des laitues a été déterminée grâce à la méthode décrite par Lichtenthaler (1987). Trois (3) g de feuilles fraîches de laitue sont coupées de façon grossière et mis dans un mortier en porcelaine. Après ajout de 10 mL d'acétone à 80 %, on broie le tout jusqu'à ce que le solvant prenne une teinte verte marquée. Le liquide est recueilli après filtration du mélange dans un tube et centrifugé à 2500 tours pendant 3 min. Le surnageant est collecté et la densité optique (DO) est mesurée aux longueurs d'ondes de 646 nm et 663 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre de marque ZUZI. Les calculs sont effectués à partir des formules suivantes :

$$\text{Chla (mg/g)} = 12,21.\text{DO}_{663} - 2,81.\text{DO}_{646}$$

Chla : Chlorophylle a

$$\text{Chlb (mg/g)} = 20,13.\text{DO}_{646} - 5,03.\text{DO}_{663}$$

Chlb : Chlorophylle b

$$\text{Chlt (mg/g)} = 7,18.\text{DO}_{663} + 17,32.\text{DO}_{646}$$

Chlt : Chlorophylle totale

2.8 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN CAROTÉNOÏDES DES LAITUES

La teneur en caroténoïdes est également déterminée par la méthode décrite par Lichtenthaler (1987). Cette fois-ci la densité optique du même surnageant est lue à la longueur d'onde de 470 nm. La formule suivante donne la teneur en caroténoïdes en mg/g de laitue :

$$\text{Cx+c (mg/g)} = (1000\text{DO}_{470} - 3,27\text{Ca} - 104\text{Cb}) / 198$$

Cx+c : Caroténoïdes (xanthophylles + carotènes)

2.9 EVALUATION DE L'INDICE DE TOLÉRANCE DES LAITUES À LA POLLUTION DE L'AIR

L'indice de tolérance à la pollution de l'Air (APTI) est donné par la relation suivante (Liu & Ding, 2008) :

$$\text{APTI} = [\text{A}(\text{T}+\text{P}) + \text{R}] / 10$$

A = Teneur en acide ascorbique (mg/g)
 T = Teneur en chlorophylle totale (mg/g)
 P = pH des extraits de feuille
 R = Teneur relative en eau (%)

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 PARAMÈTRES ANATOMIQUES

3.1.1.1 DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DES STOMATES DES LAITUES

Le tableau I présente les densités moyennes de stomate de la face inférieure des feuilles de laitues des sites 1, 2 et 3. Les laitues du site 3 (éloigné du centre-ville) présentent une valeur moyenne de densité plus élevée que celle des laitues des sites 2 et 1 (centre-ville). Les valeurs moyennes de densités stomatiques par mm² des feuilles de laitue sont respectivement pour les sites 1 et 2 de 1311 et 1423. Quant aux laitues du site 3, elles ont une densité moyenne de 1483 stomate/mm².

3.1.1.2 DÉTERMINATION DE L'OUVERTURE DES STOMATES DES LAITUES

Les ouvertures moyennes des stomates (longueurs et largeurs) des laitues des trois sites sont présentées dans le tableau I. Les stomates des feuilles de laitue du site 3 présentent une plus grande ouverture par rapport à ceux des sites 2 et 1. Le site 3 (éloigné du centre-ville) a une longueur et une largeur moyenne d'ouverture des stomates de 12,13 µm et 4,16 µm. Quant aux sites 1 et 2 (centre-ville), leurs longueurs moyennes sont de 10,57 µm et 11,72 µm, avec des largeurs respectives de 2,66 µm et 3,48 µm. Le site 1 présente une longueur d'ouverture des stomates significativement faible par rapport aux sites 2 et 3, qui ne présentent guère de différence significative (Test HSD de tukey : P > 0,05).

Tableau 1. Valeurs moyennes de densité de stomate, d'ouvertures des stomates, de teneur en eau et de pH des laitues des sites d'études

	LAITUES SITE 1	LAITUES SITE 2	LAITUES SITE 3
DENSITE (STOMATES/ MM ²)	1311 ± 285 ^a	1423 ± 367 ^a	1483 ± 226 ^a
LONGUEUR MOYENNE D'OUVERTURE DES STOMATES (µM)	10,57 ± 1,33 ^a	11,72 ± 1,45 ^b	12,13 ± 1,06 ^b
LARGEUR MOYENNE D'OUVERTURE DES STOMATES (µM)	2,66 ± 0,67 ^c	3,48 ± 0,85 ^d	4,16 ± 0,65 ^e
TENEUR RELATIVE EN EAU (%)	90,37 ± 3,06 ^a	91,61 ± 3,78 ^a	82,91 ± 4,19 ^b
PH DES LAITUES	5,46 ± 0,45 ^a	5,86 ± 0,10 ^b	6,02 ± 0,13 ^b

Les valeurs moyennes sont suivies de leur écart-types (±). Les valeurs portant les mêmes lettres en minuscule ne sont pas significativement différentes.

3.1.2 PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES

3.1.2.1 DÉTERMINATION DE LA TENEUR RELATIVE EN EAU DES LAITUES

L'évaluation de la teneur en eau des laitues des différents sites a permis d'identifier les laitues du site 2 comme celles possédant la plus forte teneur en eau par rapport aux laitues des sites 1 et 3 (tableau I). Les valeurs moyennes des teneurs en eau des laitues des sites 1, 2 et 3 sont respectivement de 90,37 % ; 91,61 % et 82,91 %. L'analyse de variance à un facteur (test HSD de Tukey) a révélé une différence significative (P < 0,05) entre la teneur en eau moyenne des laitues des sites 1 et 3 de même qu'entre celles des sites 2 et 3. Cependant, aucune différence significative n'est observée au niveau de la teneur en eau des Laitues des sites 1 et 2.

3.1.2.2 DÉTERMINATION DU PH DES LAITUES

A la suite de la détermination du pH des laitues des trois sites, il ressort que le site 3 (éloigné du centre-ville) présente la valeur moyenne de pH la plus élevée, suivi des sites 2 et 1 (centre-ville). Les valeurs respectives de pH sont de 6,02 ; 5,86 et 5,46 (tableau I). L'analyse de variance à un facteur montre une différence significative au seuil de 5 % entre les différents sites. Le test HSD de Tukey a permis de mettre en évidence une différence significative entre les sites 2 et 1 ainsi qu'entre les sites 3 et 1.

3.1.2.3 DOSAGE INDIRECT DE LA VITAMINE C DES EXTRAITS DE LAITUES PAR IODOMÉTRIE

Après dosage, il ressort que les laitues du site 3 (éloigné du centre-ville) présentent la plus forte teneur en acide ascorbique avec une moyenne de 0,048 mg/g. Elles sont suivies des laitues des sites 1 et 2 (centre-ville), avec des teneurs respectives de 0,038 mg/g et 0,022 mg/g. L'analyse de variance à un facteur présente une différence significative au seuil de 5 % entre les teneurs en acide ascorbique des laitues des différents sites. Le test HSD de Tukey révèle leurs hétérogénéités (figure 2).

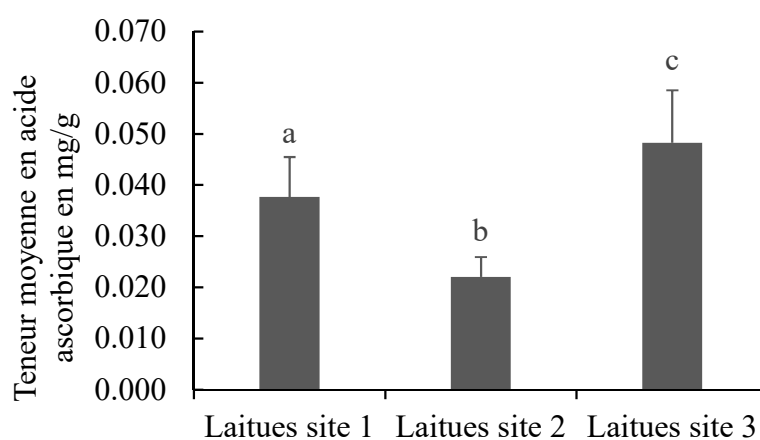


Fig. 2. Teneur moyenne en acide ascorbique des laitues des sites d'étude. Les barres au-dessus des histogrammes sont les écart-types. Les lettres en minuscules différentes au-dessus des histogrammes, indiquent qu'il existe une différence significative entre les teneurs moyennes d'acide ascorbique des laitues des trois sites d'étude (Test HSD de Tukey, seuil de 5 %)

3.1.2.4 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN CHLOROPHYLLES DES LAITUES

Les résultats de l'analyse de variance à un facteur, révèlent une différence significative au seuil de 5 % entre les teneurs moyennes en chlorophylle a, b et en chlorophylles totales. Les laitues du site 3 (éloigné du centre-ville) présentent la plus forte teneur en chlorophylles a (240,99 mg/g) et b (88,93 mg/g) ainsi qu'en chlorophylle totale (329,92 mg/g). Elles sont suivies des laitues du site 2 (centre-ville) avec les valeurs respectives de 199,82 mg/g, 76,52 mg/g et 276,34 mg/g. Les laitues du site 1 (centre-ville) présentent les plus basses teneurs en chlorophylles a, b et en chlorophylle totale ; leurs teneurs en ces pigments sont de 132,01 mg/g pour la chlorophylle a, 50,19 mg/g pour la chlorophylle b et une valeur moyenne de chlorophylle totale de 182,20 mg/g. Le Test HSD de Tukey ressort deux groupes homogènes au niveau des teneurs en chlorophylles a et b. L'un est constitué des laitues des sites 2 et 3 et l'autre, des laitues du site 1 (figure 3).

3.1.2.5 DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN CAROTÉNOÏDES DES LAITUES

Les résultats de l'analyse de variance à un facteur présentent une différence significative entre les teneurs moyennes en caroténoïdes des laitues des trois sites d'étude. Il en ressort que les laitues du site 1 ont la plus faible teneur en caroténoïdes avec une moyenne de 31,23 mg/g par rapport aux laitues des sites 2 et 3 (59,70 mg/g et 58,97 mg/g respectivement) (Figure 3).

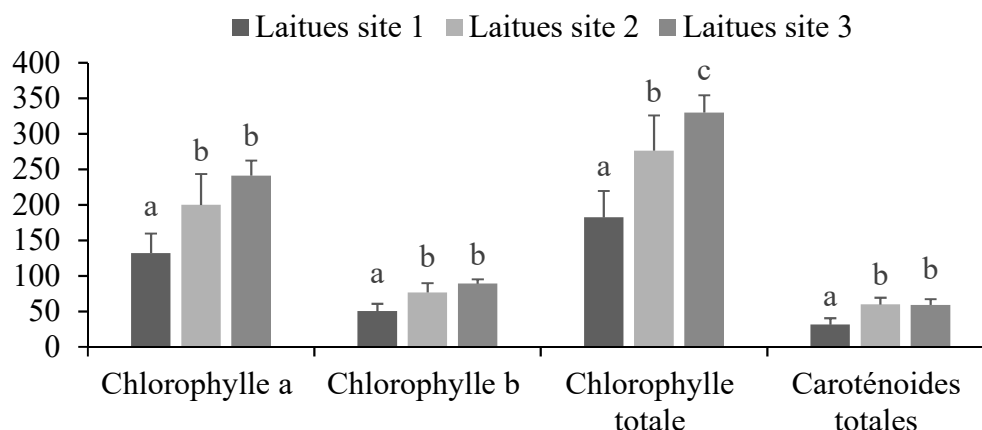


Fig. 3. Teneurs moyennes en chlorophylles a, b et en chlorophylle totale des laitues des sites d'étude. Les barres au-dessus des histogrammes sont les écart-types. Les lettres en minuscules identiques indiquent qu'il n'existe pas de différence significative entre les teneurs en chlorophylles et en caroténoïdes des laitues des sites d'étude (Test HSD de Tukey seuil de 5 %).

3.1.2.6 EVALUATION DE L'INDICE DE TOLÉRANCE DES LAITUES À LA POLLUTION DE L'AIR

Les laitues du site 3 (éloigné du centre-ville) ont la plus grande valeur d'APTI, avec une moyenne de 10,43. Les valeurs moyennes d'APTI des laitues des sites 1 et 2 (centre-ville) sont quasiment identiques 9,77 et 9,78 respectivement (tableau II). Le tableau III présente la matrice de corrélation des paramètres biochimiques. L'APTI a une forte corrélation avec la teneur en acide ascorbique ($r = 0,82$, $p < 0,05$), la teneur en chlorophylle totale ($r = 0,76$, $p < 0,05$) et le pH ($r = 0,71$, $p < 0,05$) des laitues. Une corrélation négative hautement significative est observée entre l'APTI et la teneur relative en eau des laitues ($r = -0,99$, $p < 0,05$). Concernant les autres paramètres, la teneur en chlorophylle totale des laitues est fortement corrélée positivement au pH ($r = 0,99$, $p < 0,05$) et négativement à la teneur relative en eau ($r = -0,69$, $p < 0,05$). Aussi la teneur en acide ascorbique et la teneur relative en eau des laitues sont-elles corrélées négativement ($r = -0,88$, $p < 0,05$).

Tableau 2. Valeur moyenne d'APTI des laitues des trois sites d'étude. Les lettres minuscules identiques indiquent les différences significatives entre les valeurs moyennes d'APTI (Test HSD de Tukey seuil de 5 %). TRE : Teneur Relative en Eau ; APTI : Indice de Tolérance à la pollution de l'air.

	TRE (%)	PH	CHLOROPHYLLE TOTALE (MG/G)	ACIDE ASCORBIQUE (MG/G)	APTI
SITE 1	90,37	5,46	182,20	0,038	9,78 ^a
SITE 2	91,61	5,86	276,34	0,022	9,77 ^a
SITE 3	82,91	6,02	329,92	0,048	10,43 ^b

Tableau 3. Matrice de corrélation de l'APTI avec les paramètres biochimiques. * Corrélation hautement significative au seuil de 5 %. TRE : Teneur Relative en Eau ; APTI : Indice de Tolérance à la pollution de l'air.

	TRE	PH	CHLOROPHYLLE TOTALE	ACIDE ASCORBIQUE	APTI
TRE	1				
PH	-0,63	1			
CHLOROPHYLLE TOTALE	-0,69*	0,99*	1		
ACIDE ASCORBIQUE	-0,88*	0,17	0,25	1	
APTI	-0,99*	0,71*	0,76*	0,82*	1

3.2 DISCUSSION

3.2.1 PARAMÈTRES ANATOMIQUES DES LAITUES

La détermination de la densité des stomates au niveau des faces inférieures des feuilles de *Lactuca sativa* des trois sites, a permis de mettre en évidence une valeur plus faible de densité au niveau des sites 1 et 2 (centre-ville) par rapport au site 3 (éloigné du centre-ville). Tra bi *et al.* (2014) ont fait la même remarque de faible densité stomatique au niveau des espèces de

Ficus polita situées aux abords des axes routiers, par rapport à celles plus éloignées. Pourkhabbaz *et al.* (2010) ont également observé une faible densité stomatique au niveau des feuilles des plants de *Platanus orientalis* situés également aux abords des axes routiers par rapport à ceux situés dans un site rural.

Aussi, l'ouverture moins prononcée des stomates des laitues de sites 1 et 2 (centre-ville) révèle-t-elle une réponse de celles-ci à un stress environnemental dû à la mauvaise qualité de l'air ambiant (Koffi *et al.*, 2014). Billoire (2016) attribue cette réduction de l'ouverture des stomates à une réponse des plantes exposées à de fortes concentrations en CO₂. En effet, les fortes teneurs en CO₂ vont entraîner une dépolarisation de la membrane des cellules de garde, par la sortie d'ions K⁺ et Cl⁻. Il en résultera une sortie d'eau de celles-ci et la fermeture des stomates (Kim *et al.*, 2010).

3.2.2 PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES DES LAITUES

L'évaluation de la teneur en eau des feuilles de *Lactuca sativa* a permis de révéler une différence significative entre les laitues du site 3 (éloigné du centre-ville) et les sites 1 et 2 (centre-ville). Les feuilles des laitues du site 3 présentent une réduction de la teneur relative en eau de 8,25 % et 9,5 % par rapport à celles des laitues des sites 1 et 2 (centre-ville) respectivement. Cette différence serait due à la plus grande ouverture des stomates des laitues du site 3. Tra bi *et al.* (2014) ont également observé une réduction de la teneur en eau de 10,14 % et 5,04 % chez les espèces *Barleria prionitis* et *Cassia surattensis* situées dans des parcs par rapport à celles localisées dans des sites pollués. Les travaux de Tognetti *et al.* (1996) ont montré qu'une augmentation des teneurs relatives en eau des feuilles des plantes serait due à la pollution du site de culture. Au niveau du pH moyen des laitues, les résultats ont révélé l'acidité des feuilles de laitues du site 1 par rapport aux sites 2 et 3. Steubing *et al.* (1989) attribuent cette acidité des feuilles à une acidification initiale du sol due à l'action de polluants provenant de l'environnement immédiat du site de production. De même, Scholz & Reck (1977) ont signalé qu'en présence de polluants acides, le pH des feuilles baisse.

La réduction de la teneur en acide ascorbique au niveau des laitues des sites 1 et 2 (centre-ville) serait due à son utilisation métabolique. Taneer & Albert (2013) ainsi que Keller & Schwager (1977) ont observé une réduction similaire de la teneur en acide ascorbique dans des échantillons de plantes collectées sur des sites pollués par rapport à un site témoin. En effet, l'acide ascorbique est un excellent antioxydant qui protège les plantes contre les dommages oxydatifs résultant du métabolisme aérobie, de la photosynthèse et d'une gamme de polluants comme l'ozone et les métaux lourds (Mohd *et al.*, 2011).

La réduction de la teneur en chlorophylles induit immédiatement une diminution de l'activité photosynthétique des plantes. Ainsi les plantes ayant de fortes teneurs en chlorophylles dans un environnement pollué présenteraient de fortes aptitudes à développer une résistance face aux polluants (Singh & Verna, 2007). Le rapport de chlorophylles a/b est moindre pour les parcelles 1 et 2 par rapport à la parcelle 3. Tripathi & Gautam (2007) affirment qu'un faible rapport de chlorophylles a/b est considéré comme un indicateur de pollution environnemental.

En outre, les résultats obtenus présentent une réduction de la teneur en caroténoïdes des laitues du site 1 par rapport aux sites 2 et 3. Thambavani & Maheswari (2012) ont également observé une réduction de la teneur en caroténoïdes chez des espèces de plantes situées dans un environnement présentant une forte pollution de l'air. La détermination des valeurs moyennes d'APTI a mis en évidence la sensibilité des laitues des trois sites à la pollution de l'air selon l'échelle établie par Lakshmi *et al.* (2009). Néanmoins les laitues des sites 1 et 2 présentent une sensibilité accrue, avec des valeurs respectives d'APTI de 9,77 et 9,78 par rapport au site 3 qui a une valeur moyenne de 10,43. Seyyednejad *et al.* (2011), ont également observé une faible valeur d'APTI chez des plants de *Prosopis juliflora* situés dans un environnement relativement pollué. Une corrélation positive hautement significative entre l'APTI et le pH, les teneurs en chlorophylles et en acide ascorbique a été observée. En effet, ces trois paramètres sont essentiels pour garantir une meilleure résistance des plantes aux diverses pollutions environnementales dont elles font preuves (Uka *et al.*, 2017).

4 CONCLUSION

Cette étude a été menée en vue d'évaluer la pollution de certains sites de cultures de laitues dans la ville de Daloa, par la mesure des paramètres anatomiques et biochimiques des laitues. Pour atteindre l'objectif général fixé en début d'étude, les paramètres suivants ont été évalués : la densité et l'ouverture des stomates, la teneur relative en eau, le pH, la teneur en acide ascorbique, la teneur en chlorophylles, ainsi que la teneur en caroténoïdes. Ces paramètres ont permis de calculer l'indice de tolérance des laitues à la pollution de l'air. Les résultats obtenus ont révélé une faible densité de stomate au niveau des feuilles de laitues des sites du centre-ville par rapport à celles du site plus éloigné. Les laitues des sites du centre-ville avaient des densités moyennes de 1311 et 1423 stomates/mm² tandis que celles du site éloigné possédaient une densité moyenne de 1483 stomates/mm². Aussi, les longueurs moyennes d'ouverture des stomates des laitues des deux sites situés au centre-ville étaient

de 11,72 μm et 10,57 μm avec des largeurs moyennes d'ouverture des stomates de 2,66 μm et 3,48 μm . Tandis que les laitues du site éloigné du centre-ville présentaient une longueur et une largeur moyennes d'ouverture des stomates respectives de 12,13 μm et 4,16 μm . Les laitues du site éloigné du centre-ville montraient au vu des résultats obtenus, une réduction de leur teneur relative en eau de 9,5 % et 8,25 % par rapport aux laitues des sites du centre-ville. Concernant la valeur moyenne de pH, les laitues des sites du centre-ville présentaient des valeurs moyennes de pH de 5,46 et 5,86 pendant que les laitues du site plus éloigné avaient une valeur moyenne de pH de 6,02. Aussi, les laitues du site éloigné du centre-ville possèdent une teneur moyenne en acide ascorbique de 0,048 mg/g, supérieur à celle des laitues des sites du centre-ville qui est de 0,022 mg/g pour le site 1 et 0,038 mg/g pour le site 2. Les laitues de l'un des sites du centre-ville (site 1) présentent une teneur moyenne en caroténoïdes de 31,23 mg/g, significativement plus basse que celle des laitues de l'autre site du centre-ville (site 2) et celui plus éloigné (site 3) qui ont des teneurs en caroténoïdes respectives de 59,70 mg/g et 58,97 mg/g. Le calcul de l'APTI a permis de révéler la sensibilité relative des laitues de l'ensemble des trois sites à la pollution de l'air. Néanmoins, les laitues des sites du centre-ville présentent une sensibilité accrue eu égard à leur faible valeur d'APTI (9,77 et 9,78) par rapport aux laitues du site éloigné du centre-ville qui est de 10,43. Il ressort de cette étude que les sites du centre-ville (site 1 et 2) présenteraient relativement un risque de pollution plus élevé par rapport au site plus éloigné (site 3) au regard des différents paramètres évalués. Il serait donc judicieux d'entreprendre des études visant l'identification et à la quantification de la teneur en divers polluants dans les maraîchers, en vue d'avoir une appréhension nette de leurs impacts sur la santé du consommateur par rapport aux normes toxicologiques établies pour chacun de ces polluants.

REFERENCES

- [1] Agbaire P. O. & Akporhonor E. E., 2014. The Effects of Air Pollution on Plants around the Vicinity of Delta Steel Company, Ovwian – Aladja, Delta State, Nigeria. *Journal of Environmental Science Toxicology and Food*, 8 (7): 61-65p.
- [2] Agbaire P.O., 2009. Air Pollution Tolerance Indices (APTI) of some plants around Erhoike-Kokori oil exploration in Delta state, Nigeria. *Journal for Applied Sciences and Environmental Management*, 4 (6) :366- 368.
- [3] ASPA, 2001.- Etude diagnostique sur l'évaluation de la pollution par les particules fines et leurs constituants, intégrant les méthodes de bio-indication et de bio-accumulation en Alsace. Strasbourg, Alsace, 91p.
- [4] Billoire D., 2016. Le vivant et son évolution : Nutrition et organisation des végétaux chlorophylliens, 1p.
- [5] Boulianne M., 1999. Agriculture urbaine, rapports sociaux et citoyenneté : le cas du jardinage biologique communautaire au Québec et au Mexique. Rapport de recherche Centre de recherche sur les innovations sociales du Canada, 90p.
- [6] Bul-Nguyen M. H., 1980. Application of high performance liquid chromatography to the separation of ascorbic acid from isoascorbic acid. *Journal of Chromatography*, 196: 163-165.
- [7] Elgamouz S., 2016. Le suivi de la teneur de la vitamine C dans un jus industriel. Mémoire de Master Sciences et Techniques, Chimie des molécules Bio Actives, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès (Maroc), 54p.
- [8] Katz D.A., 2013. Determination of Vitamin C in Foods, 11p.
- [9] Keller T. & Schwager H., 1977. Air pollution and ascorbic acid. *European Journal of Forestry Pathology*, 7: 338-350.
- [10] Kim T.H., Bohmer M., Hu H., Nishimura N. & Schroeder J.I., 2010. Guard cell signal transduction network: advances in understanding abscisic acid, CO₂, and Ca²⁺ signaling. *Annual Review of Plant Biology*, 61: 561-591.
- [11] Koffi N.A., Barima Y.S.S., Angaman D.M. & Dongui B.K., 2014. Les caractéristiques des stomates des feuilles de *Ficus benjamina* L. comme bioindicateurs potentiels de la qualité de l'air dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 78: 6675 - 6684.
- [12] Lakshmi P. S., Sravanti K.L. & Srinivas N., 2009. Air pollution tolerance index of various plant species growing in industrial areas. *The Ecosan*. 2: 203-206.
- [13] Lichtenthaler H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology*, 148: 350-382.
- [14] Liu Y.J. & Ding H., 2008. Variation in air pollution tolerance index of plants near a steel factory, Implication for landscape plants species selection for industrial areas. *WSEAS Transactions on Environmental and Development*, 4: 24-32.
- [15] Lohe R. N., Tyagi B., Singh V., Tyagi K.P., Khanna D.R. & Bhutiani R., 2015. A comparative study for air pollution tolerance index of some terrestrial plant species. *Global Journal of Environmental Sciences and Management*, 1 (4): 315-324.
- [16] Mohd M., Taqi A.K., Zeba H.K., Saima Q. & Firoz M., 2011. Occurrence, biosynthesis and potentialities of ascorbic acid in plants. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 1 (2): 167-184.
- [17] Olan A., 2010. Agriculture urbaine et stratégies de survie des ménages pauvres dans le complexe spatial du district d'Abidjan, Côte d'Ivoire. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 10(2): 1-22.
- [18] Pourkhabbaz A., Rastin N., Olbrich A., Langenfeld-Heyser R. & Polle A., 2010. Influence of Environmental Pollution on Leaf Properties of Urban Plane Trees, *Platanus orientalis* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85: 251-255.

- [19] Säumel I., Kotsyuk I., Hölscher M., Lenkerei C., Weber F. & Kowarik I., 2012. How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops from plantings within inner city neighborhoods in Berlin, Germany. *Environmental Pollution*, 165: 124-132.
- [20] Scholz F., & Reck S., 1977. Effect of acids on forest trees as measured by titration in vitro, inheritance of buffering capacity in *Picea abies*. In: *Water, Air and Soil Pollution*. 8:41-45.
- [21] Seyyednejad S.M., Niknejad M. & Koochak H., 2011. A review of some different effects of air pollution on plants. *Research Journal of Environmental Sciences*. 5(4): 302.
- [22] Singh S.N. & Verna A., 2007. Photoremediation: A review. In: *Environmental bioremediation technology*, Singh, S.N and Tripathi, R.D (Eds). *Springer, Berlin Heidelberg*: 293- 324.
- [23] Steubing L., Fangmier A. & Both R., 1989. Effects of SO₂, NO₂, and O₃ on Population Development and Morphological and Physiological parameters of Native Herb Layer Species in a Beech Forest. *Environmental pollution*, 58 :281-302.
- [24] Tanee F.B.G. & Albert E., 2013. Air pollution tolerance indices of plants growing around Umuebulu Gas Flare Station in Rivers State, Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(1): 1-18.
- [25] Tchiadjé N.F.T., 2007. Problématique de l'agriculture urbaine à Ouagadougou : Cas de la culture maraichère le long du canal de rejet des eaux usées de l'Université de OUAGADOUGOU. Mémoire de Master, UFR développement technologies et société, Institut International de l'Eau et de l'Environnement, 48 p.
- [26] Thambavani S. D. & Maheswari J., 2012. Phytomonitoring of Atmospheric pollution in a dry tropical environment using perennial trees. *Asian Journal of Science and Technology*.4 (12): 011.
- [27] Tognetti R., Giovannelli A., Longobucco A., Miglietta F. & Raschi A., 1996. Water relations of oak species growing in the natural CO₂ spring of Rapolano (central Italy). *Annales des Sciences Forestières*. 53 :475-485.
- [28] Tra Bi Z. F., Barima Y. S. S., Angaman D. M. & Bini K. D., 2014. Biomonitoring de la pollution urbaine en zone tropicale à partir des caractéristiques spectrales et anatomiques des feuilles de *Ficus polita* Vahl. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 8(2): 861-870.
- [29] Tripathi A. K. & Gautam M., 2007. Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. *Journal of Environmental Biology*. 28(1): 127.
- [30] Uka U. N., Hogarh J. & Belford E. J. D., 2017. Morpho-Anatomical and Biochemical Responses of Plants to Air Pollution. *International Journal of Modern Botany*. 7(1): 1-11.
- [31] Uzu G., Sarret G., Bonnard R., Sobanska S., Probst A., Silvestre J., Pradere P. & Dumat C., 2009. Absorption foliaire des métaux présents dans des particules atmosphériques issues d'une usine de recyclage de batteries : biotest laitue. 2. Rencontres nationales de la recherche sur les sites et sols pollués, octobre 2009, Paris, France. ADEME Editions. Angers, NC p.