

## **Effet de la Fertilisation Minérale et Organique sur la Biomasse et la Teneur en Lawsonsine du Henné (*Lawsonia Inermis*) dans la Réserve de Biosphère des Oasis du Maroc**

**Abdellaoui M**

*Equipe de Recherche, Développement, Environnement et santé  
Faculté des Sciences et Techniques Errachidia - Université Moulay Ismail  
BP 509, Boutalamine, 52000 Errachidia, Maroc  
E-mail : aboureda@yahoo.fr  
Tel: +212-06-73996569*

**Kasrati A**

*Laboratoire Biotechnologie, Protection et Valorisation des Ressources Végétales  
Equipe de Phytochimie et Pharmacologie des Plantes Aromatiques et Médicinales  
Faculté des Sciences Semlalia, BP 2390, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc*

**El Rhaffari L**

*Equipe de Recherche, Développement, Environnement et santé  
Faculté des Sciences et Techniques Errachidia - Université Moulay Ismail  
BP 509, Boutalamine, 52000 Errachidia, Maroc*

### **Résumé**

Au Maroc, Le henné (*Lawsonia inermis*) est profondément ancré dans les us et coutumes. Son usage comme produit cosmétique est très répandue dans tout le pays. Il est cultivé essentiellement au milieu oasien et constitue une source précieuse de revenu pour les familles rurales. En effet, la fertilisation demeure le seul facteur qui peut différencier entre un henné conduit en mode biologique et celui produit en conventionnel dans le milieu oasien. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet de la fertilisation minérale et organique sur la biomasse et la teneur en lawsonsine durant les différentes stades de coupes du henné. Un essai expérimental a été mis en place dans une parcelle située à l'oasis d'Oukhite sud-est du Maroc selon un dispositif en bloc aléatoire complet avec trois répétitions. Le henné est cultivé sous trois traitements de fertilisations (Témoin (HT); Fertilisation minérale (HM) ; Fertilisation organique (HO)). Selon les résultats obtenus, il est déduit que la fertilisation a un effet significatif sur la croissance végétative du henné. L'effet de la fertilisation organique s'est fait sentir essentiellement en début de la deuxième coupe pour l'ensemble des paramètres étudiés (Rendement en matière sèche, Rendement en feuille et le Rendement en bois). De même, la fertilisation organique a un effet très hautement significatif sur la teneur en lawsonsine dans les feuilles avec des teneurs de 2,80 % et 1,62 % dans les coupes 1 et 2 respectivement.

Il ressort donc que la fertilisation organique peut constituer une alternative à la fertilisation minérale dans le milieu oasien pour la culture du henné qui s'apprête bien au mode de production biologique. Egalement, les sous-produits du henné généralement utilisés par les agriculteurs oasiens comme source d'énergie pour la cuisson renferment des teneurs en lawsonsine non négligeables qui méritent d'être valorisées.

**Motsclés:** Henné - fertilisation – Oasis du Maroc

## Introduction

Le henné (*Lawsonia inermis*) est un arbuste épineux de la famille des Lythracées pouvant atteindre 6 m de hauteur et vivre jusqu'à 50 ans [1]. C'est une plante ancestrale du milieu désertique qui résiste à la sécheresse prolongée et aux sols pauvres [2]. Il est cultivé comme haies pour protéger les sols contre l'érosion grâce à sa longévité et ses racines tenaces [3]. Le henné a été utilisé par de nombreuses ethnies pour teindre les cheveux, les ongles, les paumes des mains, les plantes des pieds et les visages [4, 5] et avait la réputation anti pelliculaire [6] et anti séborrhéique [7]. Récemment, on note une augmentation de son utilisation comme colorant de cheveux et art du corps dans l'Europe occidentale et l'Amérique du Nord [8]. Il est aussi employé dans l'industrie pour ses propriétés tinctoriales, cosmétologiques et esthétiques [9, 10, 11, 12, 4]. Les propriétés colorantes du henné sont dues à la présence de la lawsone (2-hydroxy-1,4-naphthoquinone) contenue dans ses feuilles et qui produit une seule et unique couleur qui se décline en plusieurs teintes selon les climats et les terrains de culture [13]. La Lawsone est également un réactif approprié pour révéler les empreintes digitales en criminologie et pourrait donc substituer à la ninhydrine utilisé actuellement [14]. Au cours des dernières décennies, une large gamme d'activités biologiques ont été attribuées au henné, y compris les propriétés anti oxydantes [15, 16], anti-inflammatoires [17, 18, 19, 20], analgésiques [21], antipyrétique [22], antiarthritique [23], anticancéreuse [24, 25, 26, 27], antibactérienne [28, 29, 30], antifongique [31, 32, 33], antivirale [34], et antiparasitaire [35, 36]. Compte tenu de la vaste application thérapeutique du henné, celui-ci a acquis une grande importance dans les applications pharmaceutiques et cosmétiques. Dans les industries cosmétiques et pharmaceutiques, il est vivement souhaitable que les matières premières issues des plantes cultivées soient produites en utilisant les bonnes pratiques agricoles [37]. Il est à noter aussi que la gestion biologique est un choix qui est souvent recommandé pour la culture des plantes aromatiques et médicinales [38, 39].

Au Maroc, Le henné est profondément ancré dans les us et coutumes. Son usage comme produit cosmétique est très répandue dans tout le pays. Il est souvent employé pour orner le corps des femmes lors des cérémonies de mariage et d'autres fêtes religieuses et constitue l'un des remèdes traditionnels les plus populaires. Il est également une source précieuse de revenu pour les familles oasiennes. Malgré l'importance de la plante sur le plan économique et social, peu d'études ont été consacrées à cette culture au Maroc. Le henné est une culture rarement attaqué par les maladies et les insectes et cultivé essentiellement en milieu oasien caractérisé par les bonnes pratiques agricoles et le faible recours aux intrants chimiques. En effet, la fertilisation demeure le seul facteur qui peut différencier entre un henné conduit en mode biologique et celui conventionnel dans le milieu oasien.

Comme il n'y a aucune référence dans la littérature qui a étudié cet aspect, l'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet de la fertilisation minérale et organique sur la biomasse et la teneur en lawsone durant les différentes stades de coupes du henné dans la perspective d'évaluer l'intérêt des pratiques biologiques et d'intégrer ce mode de production dans le contexte oasien marocain.

## Matériels et Méthodes

### 1. Installation et Conduite de la Pépinière du Henné

Les grains du henné ayant fait l'objet de semis en pépinière installée à l'oasis d'Oukhite sud-est du Maroc, ont été récoltées à partir des grappes volumineuses issues du pied mère vigoureux, âgés de plus de deux ans, présentant une floraison abondante et un feuillage très large. Ensuite, elles sont séchées au soleil pendant 2 semaines dans l'air de battage des graines. Avant d'effectuer le semis, les graines sont frottées pour enlever l'écorce et trempées dans l'eau à plusieurs reprises pour les nettoyer jusqu'à ce que l'eau de lavage devienne claire. Après, elles sont placées dans un sac en jute bien imbibé d'eau

pendant 6 jours en vue d'effectuer une prégermination. Par la suite, les graines préalablement prégermées sont semis à la volée selon une dose de 13 g/m<sup>2</sup> en **Mai 2012** dans un carré de semis de 12 m<sup>2</sup>, engorgés d'eau et bien amandés en engrais organique. Après décantation, les graines déposées sur le lit de semence sont recouvertes d'une terre fine et irriguées d'une manière régulière. Les premières graines ont germées dans huit jours. Au stade deux feuilles, une couche d'engrais organique bien tamisée a été épandue au moment d'irrigation sur le carré de semis. Les principales interventions au niveau de la pépinière, consistent à éliminer les mauvaises herbes manuellement et effectuer une coupe à 2 cm au-dessus du collet durant les quatre mois qui suivent le semis en vue de favoriser le développement racinaire et éviter les dégâts dû au gel à l'arrivée de la saison froide. Les plants séjournent plus d'une année dans la pépinière avant d'être transplantés à l'essai en **Septembre 2013**.

## 2. Essai Expérimental

L'essai a été mis en place dans une parcelle située à l'oasis d'Oukhite sud-est du Maroc (N 31 27 ' 26''-W 4° 36' 18'') à une altitude de 909 m. le sol est de type sableux –limoneux (Argile : 5%, Limon : 19,98 %, Sable : 75,02 %). Les caractéristiques du sol de l'essai expérimental sont relatées au **Tableau 1**. Le modèle expérimental adopté pour notre essai correspond à un dispositif en bloc aléatoire complet avec trois répétitions. La parcelle élémentaire présente une longueur de 5 m et une largeur de 2,5 m. La densité de plantation est de 70 plants/m<sup>2</sup>. Le henné est cultivé sous trois traitements de fertilisations (Témoin n'ayant reçu aucun traitement (HT) ; Fertilisation minérale (HM) : 160 U de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha et 150 U de K<sub>2</sub>O/ha comme engrais de fond, 40 U d'N/après chaque coupe comme engrais de couverture, Fertilisation organique (HO) : 1,4 tonne/coupe/ha d'engrais organique (**Tableau 2**). Un désherbage manuel contre les mauvaises herbes a été effectué tandis qu'aucun traitement phytosanitaire n'a été entrepris au cours de la conduite de l'essai. Les observations et mesures portent sur le rendement en matière sèche en qx/ha, rendement en feuille (qx/ha) et rendement en bois (qx/ha) au terme de chacune des trois coupes (coupe 1 : Mi-Juin, coupe 2 : Mi-Aout, coupe 3 : Début Novembre). Aussi, le dosage de la lawsonie, substance colorante principale du henné, dans les différentes parties de la plante (feuille, écorce et bois) a été réalisé.

**Tableau 1:** Les caractéristiques du sol de l'essai expérimental

Les caractéristiques du sol	Unité	Valeur
-Matière organique	%	0,37
-PH	-	9,18
-N	%	0,06
-P	mg/kg	59,95
-K	még/100 g	1,16
-Ca	még/100 g	23,05
-Mg	még/100 g	2,56
-Conductivité (CE)	ms/cm	0,17

**Tableau 2:** Caractérisation de l'engrais organique utilisé dans l'étude

La caractérisation de l'engrais organique	Valeur
-Azote total (%)	5
- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Anhydride phosphorique) (%)	5
- K <sub>2</sub> O (Oxyde de potassium) (%)	8
- MgO (Oxyde de magnésium) (%)	2
- CaO (Oxyde de calcium) (%)	4
-Oligo-éléments (Fe, B, Zn, Mn, Mo) (%)	0,2
-Matière Organique (%)	60
-Humidité (%)	8

### 3. Matériel Végétal

Le matériel végétal du henné (*Lawsonia inermis*) utilisé dans cette étude est prélevé dans notre essai expérimental selon les stades de coupe pendant l'année 2014. Les plants du henné issus de chaque traitement de fertilisation sont mis en bottes et disposés verticalement en petites huttes pour séchage à l'ombre dans un endroit bien aéré durant 2 semaines. Ensuite, les plants sont effeuillés manuellement. Chaque échantillon, obtenu par mélange des feuilles sèches collectées à partir des trois répétitions de chaque traitement, a été broyé en poudre fine en utilisant un broyeur et passé au tamis avant d'être emballé soigneusement dans des sacs stérilisés en polyéthylène et stockés à température ambiante jusqu'à utilisation. Les brindilles effeuillées de divers échantillons sont aussi broyées tout en séparant le bois de l'écorce.

### 4. Estimation Quantitative de la Lawsonsine dans les Feuilles, Ecorces et Bois

La lawsonsine Standard (2-hydroxy-1,4-naphtoquinone) avec 97 % de pureté a été achetée auprès du Sigma Aldrich (USA).

L'estimation quantitative de la lawsonsine dans les différents organes de la plante a été effectuée en utilisant la méthode colorimétrique dans laquelle un échantillon de 2 g de poudre des organes végétatifs étudiés (feuilles, écorce, bois) est soumis à une macération dans 100 ml de bicarbonate de sodium (5 %) sous agitation à la température ambiante en utilisant un agitateur rotatest. Ensuite, l'extrait est centrifugé à 5000 tours par minute pendant 30 min et filtré avec un papier filtre Whatman. Une quantité de 10 ml de surnageant est diluée avec 15 ml de l'eau distillée puis la lecture est effectuée contre un blanc (bicarbonate de sodium 5 %) à l'aide d'un spectrophotomètre à 490 nm [40]. En outre, une courbe d'étalonnage a été préparée en traçant la concentration par rapport à l'absorbance à la même longueur d'onde dans l'intervalle de concentration de 10 à 200 µg/ml de lawsonsine pur. Toutes les observations ont été prises en trois exemplaires.

### 5. Analyses Statistiques

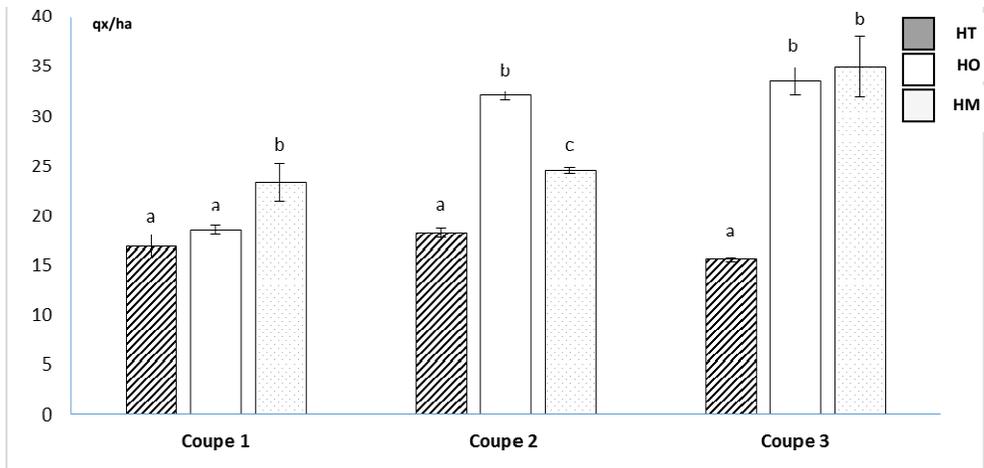
Les données collectées sont soumises à des analyses statistiques (analyse de la variance à un seul critère de classification ANOVA 1 suivi d'une comparaison multiple des moyennes) à l'aide d'un logiciel SPSS pour Windows version 10.0.5. Lorsque le test F est significatif, les moyennes relatives au facteur étudié sont classées en groupe homogène selon le test de post hoc à  $p \leq 0.05$ .

## Résultats

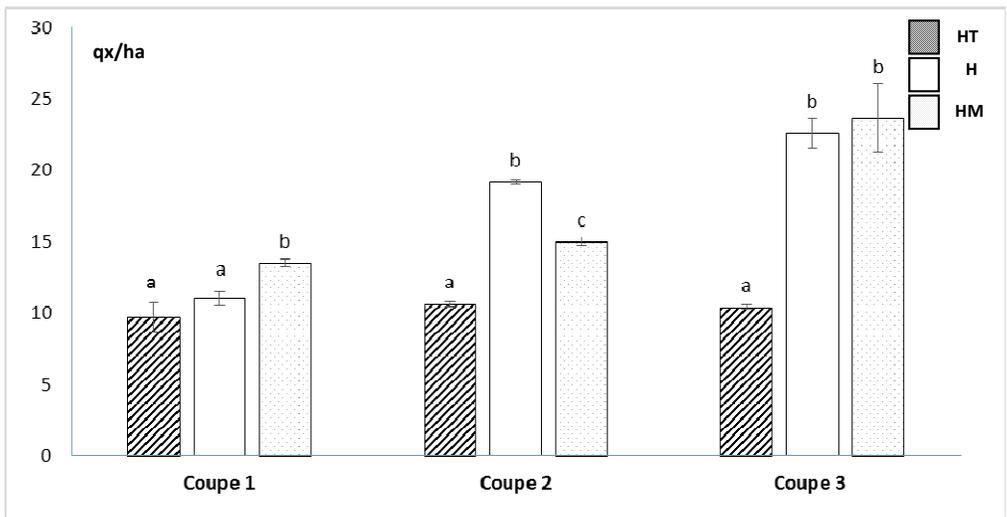
### 1. Effet de la Fertilisation sur les Paramètres de la Biomasse

Les figures 1, 2 et 3 montrent l'effet des différents traitements de fertilisation sur le rendement en matière sèche, rendement en feuille et le rendement en bois.

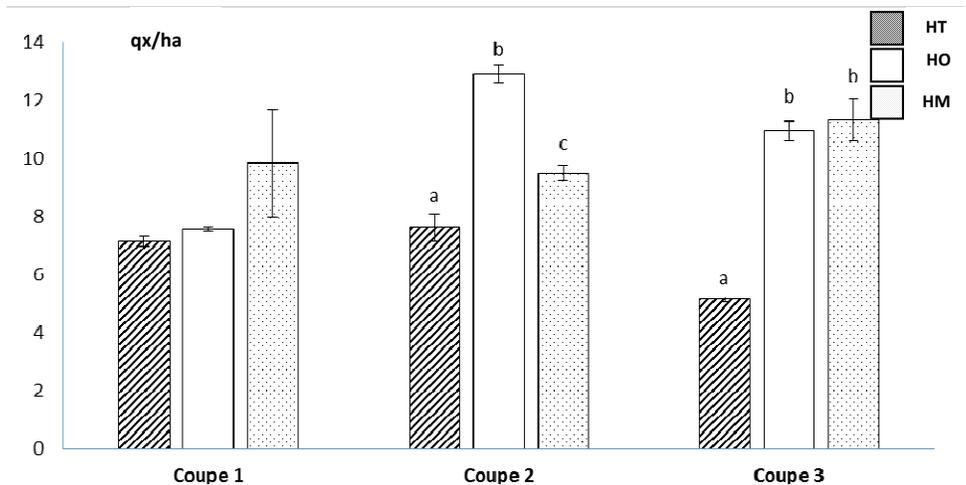
**Figure 1:** Effet de la fertilisation sur le rendement de la matière sèche selon les stades de coupes



**Figure 2:** Effet de la fertilisation sur le rendement en feuille selon les stades de coupes



**Figure 3:** Effet de la fertilisation sur le rendement en bois selon les stades de coupes



Il ressort de ces résultats que la fertilisation a un effet hautement significatif sur la croissance végétative du henné. Dans les différentes coupes, les niveaux des rendements ont été améliorés par la fertilisation. Le rendement exprimé en matière sèche varie dans le même sens que le rendement en feuille (**Fig 1 et Fig 2**). La fertilisation avec l’engrais organique a augmenté le rendement en feuille de 13,60 %, 80,79 % et 116 % respectivement pour les coupes 1,2 et 3 par rapport au témoin ainsi que les plants du henné fertilisés avec l’engrais minéral ont enregistré aussi un rendement en feuille supérieur à celui du témoin avec un accroissement de 22,27 %, 41,20 % et 126,41 % respectivement pour les coupes 1, 2 et 3. Lors de la première coupe, l’analyse de la variance n’a pas révélé de différence significative entre le témoin et l’engrais organique pour le rendement en matière sèche ( $p>0,38$ ) et le rendement en feuille ( $p>0,21$ ). Ceci peut être expliqué à l’effet moins rapide des engrais organiques qui exigent des transformations microbiennes complexes dans le sol avant leur absorption par les plantes [41]. Cependant, l’impact de l’engrais organique s’est fait sentir essentiellement en début de la deuxième coupe pour l’ensemble des paramètres étudiés en affichant un rendement en feuille (19,2 qx/ha) supérieur à celui de l’engrais minérale (15 qx/ha).Ceci semble être dû à la forte minéralisation de la matière organique en présence d’eau et sous les températures élevées pendant la période qui coïncide avec la deuxième coupe.

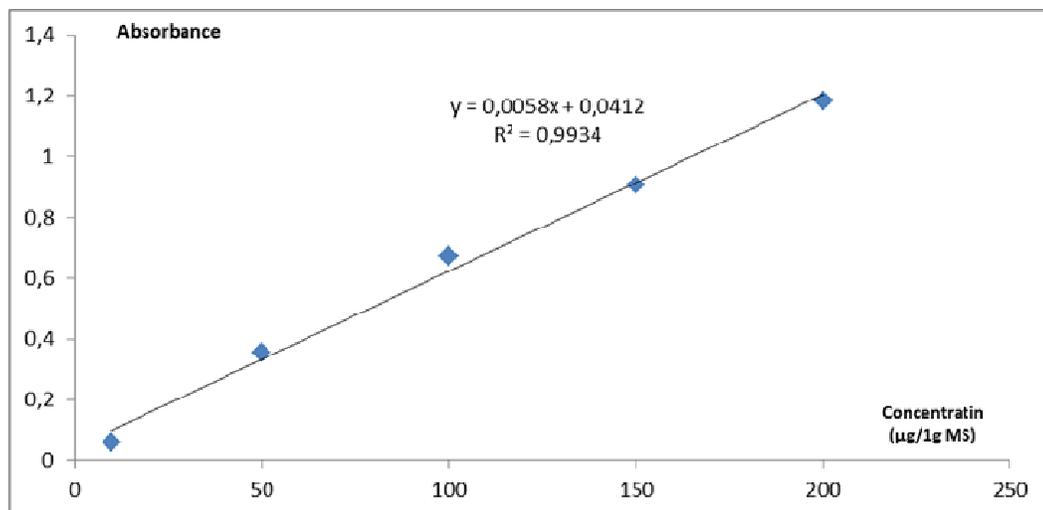
Dès la troisième coupe, les différences en termes de rendement en feuille et en matière sèche sont devenues non significatives entre l’engrais organique et minérale ( $p>0,63$  et  $p>0,61$  respectivement). Bien que les engrais organiques ont des teneurs inférieures en éléments nutritifs et agissent plus lentement sont plus efficaces que les engrais chimiques lorsqu’ils sont utilisé d’une manière continue [39].

Concernant le rendement en bois, l’analyse de la variance a révélé des différences très hautement significatives entre tous les traitements à partir de la deuxième coupe (Fig 3). Les meilleurs rendements enregistrés sont ceux obtenus durant cette coupe avec l’engrais organique 12,9 qx/ha.

## 2. Effet de la Fertilisation sur les Teneurs de la Lawsone dans les Feuilles, Ecorces et Bois

La teneur en lawsone a été déduite à partir de l’équation de la courbe d’étalonnage établie avec la lawsone standard (10-200 µg)  $y = 0,00058 X + 0,0412$  ( $R^2 = 0,993$ ) où Y est l’absorbance et X est la concentration de la lawsone en µg/1 g de matière sèche (Fig 4). La teneur en lawsone dans les différents organes de la plante du henné a été ensuite calculée en %.

**Figure 4:** Courbe d’étalonnage établie avec la lawsone standard



**Tableau 3:** Teneur en lawsone dans les différentes parties de la plante du henné en %

Traitement	Feuilles		Bois		Ecorce	
	Coupe 1	Coupe 2	Coupe 1	Coupe 2	Coupe 1	Coupe 2
Témoin	2,11 ± 0,04 a	1,54±0,01 a	2,05 ± 0,03 b	1,49±0,01b	1,78±0,01 b	1,67±0,01 b
Henné fertilisé avec l'engrais organique (HO)	2,80 ± 0,02 b	1,62±0,01 b	1,70±0,05 c	1,16±0,01 a	1,53±0,04 a	1,53±0,08 a
Henné fertilisé avec l'engrais minéral (HM)	2,93 ± 0,15 b	1,58±0,01 c	1,56±0,02 a	1,27 ±0,01 c	1,55±0,02 a	1,56±0,03 a

L'analyse de la variance a montré que la fertilisation a un effet très hautement significatif sur la teneur en lawsone au niveau des feuilles du henné dans les 1<sup>ères</sup> et 2<sup>èmes</sup> coupes (**Tableau 3**). Les teneurs les plus élevées en lawsone sont enregistrées à la coupe 1 au niveau des feuilles du henné fertilisé avec l'engrais minérale et l'engrais organique avec des teneurs moyennes de 2,93 % et 2,80 % de matière sèche respectivement. Seules les feuilles sèches de *L.inermis* produisent la lawsone en larges quantités [13] et se sont révélées être une meilleure source de lawsone par rapport aux feuilles fraîches [42]. Cet état de fait est souvent confirmé par les agriculteurs oasiens qui ont toujours déclaré que le henné issu de la première coupe et la première année suivant l'installation de la culture est généralement plus concentré en pigment responsable de la teinte. Ce henné est nommé en dialecte oasien "Tabalhanate". Toutefois, nos résultats indiquent qu'aucune différence significative n'a été constatée entre ces deux traitements de fertilisation pour la coupe 1 ( $p > 0,13$ ). A l'inverse, au niveau de la coupe 2, les feuilles du henné fertilisé avec l'engrais organique a présenté une teneur en lawsone (1,62 %) jugée statistiquement supérieure à celle contenue par leurs homologues issus des plantes ayant reçu une fumure minérale ( $p < 0,004$ ). Ceci peut être dû à la forte minéralisation de la matière organique qui est favorisée par les températures du sol élevées durant cette période.

La lawsone existe aussi dans le bois et l'écorce du henné mais avec des proportions moins importantes à celle trouvée dans les feuilles. L'analyse de la variance a décelé des différences hautement significatives entre tous les traitements. Toutefois, la fertilisation n'a pas amélioré la teneur en lawsone dans les sous-produits du henné. D'ailleurs, Le test de post hoc a groupé les résidus du henné n'ayant reçu aucun traitement de fertilisation (bois et l'écorce) dans une classe supérieur par rapport aux autres traitements (Tableau 3). Cela peut probablement s'expliquer par le fait que la lawsone une fois synthétisée dans la feuille, une partie est exportée vers d'autres organes de la plante notamment le tronc où elle est stockée lorsque la plante ressent un déficit en un élément minéral impliqué dans sa synthèse. Lors de la première coupe, le bois issu du henné fertilisé par l'engrais organique a affiché la valeur la plus élevée en lawsone (1,7 %) par rapport à celui fertilisé par l'engrais minérale. Cependant, cette teneur a connu une baisse au cours de la deuxième coupe en enregistrant une valeur inférieur à celle observée chez le traitement minérale (1,27 %). Quant à l'écorce, les teneurs en lawsone sont presque similaires pour ces deux traitements durant les deux coupes.

## Discussion

### 1. Effet de la Fertilisation sur les Paramètres de la Biomasse

L'utilisation de la fertilisation a permis une amélioration des rendements exprimés en matière sèche, en feuille et en bois pour la culture du henné. Ceci est probablement dû aux éléments nutritifs en particulier l'azote et le phosphore qui contrôlent la croissance des cultures [43, 44, 45]. D'autres travaux ont rapporté que le henné peut atteindre un rendement en feuille de 20 qx/ha sous un traitement fort d'engrais et d'irrigation [46, 47]. Ce niveau de rendement est similaire à celui observé dans notre essai chez le henné fertilisé avec l'engrais organique à la 2<sup>ème</sup> coupe. Ce henné a présenté des rendements nettement supérieurs par rapport aux témoins et l'engrais minéral pour l'ensemble des paramètres étudiés. Ce résultat est en accord avec [48] qui ont signalé que les engrais organiques sont

aussi efficaces que les engrais chimiques lorsqu'ils sont utilisés pour des périodes plus longues. Également, les agriculteurs oasiens considèrent la fumure organique comme le pivot de la fertilisation dans les zones productrices du henné. En outre, [49] ont indiqué que les terres fertilisées avec du fumier organique sont propices pour la culture du henné. Cet effet de la fertilisation organique sur l'amélioration de la croissance végétative a été aussi confirmé sur plusieurs cultures telles que le thym : *Thymus vulgaris* L. [50]; la mélisse de Moldavie : *Dracocephalum moldavica* L. [51]; la culture de la Menthe : *Mentha species* [52].

D'un autre côté, le cumul des rendements en bois obtenus au cours des différentes coupes est de 2 tonne/ha, 3,14 tonne/ha et 3,07 tonne/ha pour HT, HO et HM respectivement. Ces quantités importantes demeurent non valorisées en milieu oasien. En effet, les brindilles du henné après effeuillage sont généralement utilisées par les agriculteurs oasiens en tant que source d'énergie pour la cuisson. Cependant, elles abritent un recueil ethnopharmacologique riche et varié. L'écorce de la tige du henné a été utilisée pour lutter contre la jaunisse, l'élargissement de la rate, les soins de calculs rénaux, la lèpre et les maladies tenaces de la peau [53, 54]. D'autres études ont rapporté qu'il renferme des dérivés naphthoquinoniques possédant des activités biologiques et pharmacologiques d'un grand intérêt [17]. Par ailleurs, les brindilles du henné sont frottées sur les dents pour un auto-soin dentaire efficace et pour empêcher les microbes de la voie orale [55].

## 2. Effet de la Fertilisation sur les Teneurs de la Lawsonsine dans les Feuilles, Ecorces et Bois

L'usage de la fertilisation organique et minérale a permis une amélioration de la teneur en lawsonsine au niveau des feuilles. En outre, la fertilisation est le facteur clé qui contrôle la production des métabolites primaires et secondaires [56, 57]. Ceci en accord avec d'autres travaux qui ont rapporté que le profil chimique des plantes aromatiques et médicinales est affecté par la fertilité des sols et la nutrition minérale [58, 59, 60, 61, 62]. D'autres études ont montré que la poudre fraîche du henné contient des teneurs en lawsonsine qui varie de 0,5 à 2 % [63]; 1,99 à 2,99 % [64] ; 1 à 4 % [5]; 1,44 % [65] ; de 0,57 % [66] et de 0,5 à 1,5% [67]. Cette variation dans les teneurs en lawsonsine dépend des conditions climatiques et de culture [5] ainsi que des facteurs édaphiques [64]. Les teneurs les plus élevées en lawsonsine sont observées au niveau des feuilles du henné fertilisé avec l'engrais minérale (2,93 %) et organique (2,8 %) à la coupe 1 ayant lieu à mi-juin. En effet, [49] ont signalé que le henné produit une teneur en colorant maximale pendant le mois d'été lorsque la température se situe entre 35°C et 45°C. Également, la teneur en lawsonsine dans les feuilles est positivement corrélée avec les conditions climatiques chaudes [68] et varie en fonction des stades de coupe [64].

Aussi, Les teneurs en lawsonsine constatées dans l'écorce et le bois du henné sont non négligeables. D'ailleurs, [65] ont indiqué que la lawsonsine s'accumule dans la partie aérienne. Les résultats obtenus ici ouvrent un débouché intéressant vers l'extraction des colorants naturels à partir de ces sous-produits qui demeurent jusqu'à maintenant non valorisés dans le milieu oasien. À noter aussi que la production de colorants naturels à partir des déchets de bois revêt un grand intérêt surtout dans le contexte actuel de la préservation écologique [69, 70].

## Conclusion

À la lumière de ces résultats, on peut conclure que la fertilisation organique a un effet significatif sur la croissance végétative du henné et sur la teneur en lawsonsine au niveau des feuilles. Il semble même que le rendement en feuille et la teneur en lawsonsine des feuilles du henné ayant reçu l'engrais organique soient supérieurs à ceux enregistrés avec la fumure minérale durant la 2<sup>ème</sup> coupe. La fertilisation organique peut donc constituer une alternative intéressante à la fertilisation minérale pour la culture du henné en particulier dans un écosystème assez fragile comme celui des oasis. En effet, la culture du henné peut être convertie facilement en mode de production biologique dans le milieu oasien.

caractérisé par les bonnes pratiques agricoles. En outre, le consommateur est désormais à la recherche d'un henné naturel et bio. Ce label bio peut servir à rendre la crédibilité aux produits commerciaux formulés à partir du henné qui connaît une activité frauduleuse en plein essor à cause des différents produits chimiques nocifs synthétiques ajoutées au henné en vue de créer une palette de couleur et d'accélérer le processus de tatouage. L'adjonction de ces additifs peut conduire à des réactions allergiques graves chez l'être humaine [71, 72, 73].

D'autre part, les sous-produits du henné généralement utilisés par les agriculteurs oasiens comme source d'énergie pour la cuisson renferment des teneurs en lawsone non négligeable qui méritent d'être valorisées.

## Références Bibliographiques

- [1] **Narain, P., Singh, M., Roy, P.K., Chand, K., Jangid, B.L., Singh, Y.V., 2005.** Production, Trade and Future Prospect of Henna. Henna, Cultivation, Improvement and Trade. Central Arid Zone Research Institute, Jodhpur (India).
- [2] **Fernández-García, N., Olmos, E., Bardisi, E., Garma, J.G., López-Berenguer, C., Rubio-Asensio, J.S., 2014.** Intrinsic water use efficiency controls the adaptation to high salinity in a semi-arid adapted plant, henna (*Lawsonia inermis* L.). *Journal of Plant Physiology* 171, 64–75.
- [3] **Singh, Y.V., Regar, P.L., Rao, S.S., Jangid, B.L., Chand, K., 2005.** Potential of Planting Configuration and Water Harvesting in Improving the Production of Henna in Arid Fringes. Henna, Cultivation, Improvement and Trade. Central Arid Zone Research Institute. Regional Research Station. Pali-awar, India, pp. 28–30.
- [4] **Fortin D., LO M., Maynard G., 2000.** Plantes médicinales du Sahel. Enda éditions, 280 p.
- [5] **Cartwright-Jones, C., 2004.** The henna page. *In* : Encyclopedia of henna. Document électronique, <http://www.hennapage.com/>
- [6] **Berenji, F., Rakhshandeh, H., Ebrahimipour, H., 2010.** in vitro study of the effects of henna extracts (*Lawsonia inermis*) on *Malassezia* species. *Jundishapur Journal of Microbiology* 3, 125–128.
- [7] **Gast, M. (2000).** Henné. *Encyclopédie berbère* (22), 3437-3440
- [8] **Badoni Semwal, R., Kumar Semwal, D., Combrinck, S., Cartwright-Jones, C., 2014.** *Lawsonia inermis* L. (henna) : Ethnobotanical, phytochemical and pharmacological aspects. *Journal of Ethnopharmacology* 155, 80- 103.
- [9] **Aubréville A., 1950.** Flore forestière soudano-guinéenne. AOF, Cameroun, AEF. Paris, France, Soc. Éd. Géographiques, Maritimes et Coloniales, 523 p.
- [10] **Hekimian Lethève C., 1968.** Les plantes tannifères et tinctoriales. *Mémento de l'Agronome*. Cirad-Gret-Ministère des Affaires étrangères, 1223-1228.
- [11] **Letouzey R., 1970.** Manuel de botanique forestière, Afrique tropicale. Tome 2 A. Nogent-sur-Marne, France, Ctft, 210 p.
- [12] **Berhaut J., 1979.** Flore illustrée du Sénégal. Dicotylédones. Tome VI, linacées à nymphéacées. Dakar, Sénégal, ministère du Développement rural et de l'Hydraulique, 636 p.
- [13] **Cartwright-Jones, C., 2006.** Developing Guidelines on Henna: A Geographical Approach (Masters' dissertation). Masters of Liberal Studies. Kent State University, Kent, Ohio, USA. Available online at : [www.hennapage.com/henna-encyclopedia/masters-essay/index.html](http://www.hennapage.com/henna-encyclopedia/masters-essay/index.html).
- [14] **Khan, Z.S., Nasreen, S., 2010.** Phytochemical analysis, antifungal activity and mode of action of methanol extracts from plants against pathogens. *J. Agric. Technol.* 6, 793–805.
- [15] **Aqil F., Ahmad, I., Mehmood, Z., 2006.** Antioxidant and free radical scavenging properties of twelve traditionally used Indian medicinal plants. *Turkish Journal of Biology* 30, 177–183
- [16] **Dudai, N., Raz, A., Hofesh, N., Rozenzweig, N., Aharon, R., Fischer, R., David, C., Daniel, S., 2008.** Antioxidant activity and phenol content of plant germplasm originating in the Dead Sea area. *Israel Journal of Plant Sciences* 56, 227–232

- [17] **Gupta, S., Ali, M., Alam, M.S.A., 1993.** Naphthoquinone from *Lawsonia inermis* stem bark. *Phytochemistry* 33, 723–724.
- [18] **Saba, M., Aravanan, P., Ilavarasan, R., 2007.** Anti-inflammatory activity of *Lawsonia inermis* leaves. *Indian Drugs* 44, 224–226.
- [19] **Imam, H., Uddin Mahbub, N., Khan, F., Kabir Hana, H., Rahman Sarker, M., 2013.** Alpha amylase enzyme inhibitory and anti-inflammatory effect of *Lawsonia inermis*. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 16, 1796–1800
- [20] **Liou, J.R., El-Shazly, M., Du, Y.C., Tseng, C.N., Hwang, T.L., Chuang, Y.L., Hsu, Y.M., Hsieh, P.W., Wu, C.C., Chen, S.L., Hou, M.F., Chang, F.R., Wu, Y.C., 2013.** 1,5-Diphenylpent-3-en-1-ynes and methyl naphthalene carboxylates from *Lawsonia inermis* and their anti-inflammatory activity. *Photochemistry* 88, 67–73.
- [21] **Bagi, M.K., Kakrani, H.K., Kalyani, G.A., Dennis, T.J., Jagdale, M.H., 1988.** Experimental evaluation of pharmacological activity of *Lawsonia alba* seed oil. *Fitoterapia* 59, 39–42.
- [22] **Ali, B.H., Bashir, A.K., Tanira, M.O., 1995.** Anti-inflammatory, antipyretic, and analgesic effects of *Lawsonia inermis* L. (henna) in rats. *Pharmacology* 51, 56–63.
- [23] **Kore, K.J., Shete, R.V., Desai, N.V., 2011.** Anti-arthritic activity of hydroalcoholic extract of *Lawsonia inermis*. *International Journal of Drug Development and Research* 3, 217–224.
- [24] **Hashmi, S., Begum, W., Sultana, A., 2011.** Efficacy of *Sphaeranthus indicus* and cream of *Lawsonia Inermis* in cervical erosion with cervicitis. *European Journal of Integrative Medicine* 3, e183–e188.
- [25] **Raja, W., Agrawal, R.C., Ovais, M., 2009.** Chemopreventive action of *Lawsonia inermis* leaf extract on DMBA-induced skin papilloma and B16F10 melanoma tumor. *Pharmacologyonline* 2, 1243–1249.
- [26] **Ozaslan, M., Zümürütdal, M.E., Daghoglu, K., Kilic, I.H., Karagoz, I.D., Kalender, M.E., Tuzcu, M., Colak, O., Cengiz, B., 2009.** Antitumoral effect of *L. inermis* in mice with EAC. *International Journal of Pharmacology* 5, 263–267.
- [27] **Endrini, S., Rahmat, A., Ismail, P., Taufiq-Yap, Y.H., 2007.** Comparing of the cytotoxicity properties and mechanism of *Lawsonia inermis* and *Strobilanthes crispus* extract against several cancer cell lines. *Journal of Medical Sciences* 7, 1098–1102
- [28] **Jeyaseelan, E.C., Jenothiny, S., Pathmanathan, M.K., Jeyadevan, J.P., 2012.** Antibacterial activity of sequentially extracted organic solvent extracts of fruits, flowers and leaves of *Lawsonia inermis* L. from Jaffna. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 2, 798–802.
- [29] **Rahiman, F.A., Mahmud, N., Taha, R.M., Elias, H., Zaman, F.H., 2013.** Antimicrobial properties of *Lawsonia inermis* syn. *Lawsonia alba* in vivo and in vitro. *Journal of Food Agriculture and Environment* 11, 502–504
- [30] **Karpe, S.T., Kulkarni, S.R., Shaikh, S.A., Manikrao, A.M., 2011.** Bactericidal and bacteriostatic activity of isolated naphthoquinone fraction of *Lawsonia inermis* and synthetic Lawson on *Staphylococcus epidermidis*. *Pharmacologyonline* 2, 156–163
- [31] **Natarajan, V., Mahendraraja, S., Menon, T., 2000.** Anti dermatophytic activities of *Lawsonia alba*. *Biomedicine* 20, 243–245.
- [32] **Vaijayanthimala, J., Prasad, N.R., Anandi, C., Pugalendi, K.V., 2004.** Antidermatophytic activity of some Indian medicinal plants. *Journal of Natural Remedies* 4, 26–31
- [33] **Sagar, K., Vidyasagar, G.M., 2013.** Anti-dermatophytic activity of some traditionally used medicinal plants of north Karnataka region. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 3, 77–83.
- [34] **Mouhajir, F., Hudson, J.B., Rejdali, M., Towers, G.H.N., 2001.** Multiple antiviral activities of endemic medicinal plants used by Berber peoples of Morocco. *Pharmaceutical Biology* 39, 364–374.

- [35] **Jeyathilakan, N., Murali, K., Anandaraj, A., Abdul Basith, S., 2012.** in vitro evaluation of anthelmintic property of ethno-veterinary plant extracts against the liver fluke *Fasciola gigantica*. *Journal of Parasitic Diseases* 36, 26–30.
- [36] **Marimuthu, S., Rahuman, A.A., Santhoshkumar, T., Jayaseelan, C., Kirthi, A.V., Bagavan, A., Kamaraj, C., Elango, G., Zahir, A.A., Rajakumar, G., Velayutham, K., 2012.** Lousicidal activity of synthesized silver nanoparticles using *Lawsonia inermis* leaf aqueous extract against *Pediculus humanus capitis* and *Bovicola ovis*. *Parasitology Research* 111, 2023–2033.
- [37] **Lubbe, A., Verpoorte, R., 2011.** Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials. *Industrial Crops and Products* 34 , 785– 801.
- [38] **Malik, A.A., Suryapani, S., Ahmad, J., 2011.** Chemical vs organic cultivation of medicinal and aromatic plants: the choice is clear. *Int. J. Med. Arom. Plants* 1 (1),5–13. *Medicinal Plant of the Temperate Zone*. Archon Books, pp. 770
- [39] **Naguib, N.Y.M., 2011.** Organic vs chemical fertilization of medicinal plants: a concise review of researches. *Adv. Environ. Biol.* 5 (2), 394–400
- [40] **Khorrami, J.S., 1979.** Dosage de Lawsone dans le Henné par la méthode colorimétrique. *Pharmaceutical Biology*, 17, 131-134.
- [41] **Gutser, R., Ebertseder, Th., Weber, A., Schraml, M., Schmidhalter, U., 2005.** Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 439–446, <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200520510>
- [42] **Dhiman A, Sharma K, Goyal J, Garg M, Sharma A, 2012.** Determination of Lawsonia Content in fresh and Dried Leaves of *Lawsonia Inermis* Linn. And its Quantitative analysis by HPTLC. *Journal of Pharmaceutical and Scientific Innovation*.
- [43] **Bernstein N, Ioffe Bruner M, Nishri Y, Luria G, Dori I, Matan E, Philosoph-Hadas S, Umiel N, Hagiladi A, 2005.** Effects of supplied nitrogen form and quantity on growth and postharvest quality of *Ranunculus asiaticus* flowers. *Hort Science* 40, 1879–1886.
- [44] **Bernstein N, Ioffe M, Luria G, Bruner M, Nishri Y, Philosoph-Hadas S, SalimS, Dori I, Matan E, 2010.** Evaluation of a newly developed potassium and nitrogen fertilization regime for soil cultivation of *Ranunculus asiaticus*. *Israel Journal of Plant Science* 18, 33–41.
- [45] **Marschner H, 2002.** Mineral Nutrition of Higher Plants. Elsevier Science Ltd., Great Britain.
- [46] **Green, C.L., 1995.** Natural colorants and dyestuffs: a review of production, market and development potential *Non-wood Forest Products* No. 4. Food and Agriculture organization, Rome
- [47] **Kumar, S., Singh, Y.V., Singh, M., 2005.** Agro-history, uses, ecology and distribution of henna (*Lawsonia inermis* L.). In: *Henna Cultivation, Improvement and Trade*. Central Arid Zone Research Institute, Jodhpur, pp. 11–12.
- [48] **Sharafzadeh, S.H., Ordoorkhani, K., 2011.** Organic and Bio Fertilizers as a Good Substitute for Inorganic Fertilizers in Medicinal Plants Farming. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12): 1330-1333, ISSN 1991-8178
- [49] **Singh, D.K., Luqman, S., Mathurb, A.K, 2015.** *Lawsonia inermis* L. – A commercially important primaeval dying and medicinal plant with diverse pharmacological activity. *Industrial Crops and Products* 65 .269–286.
- [50] **Hendawy, S.F., A.A. Ezz El-Din, E.E. Aziz and E.A. Omer, 2010.** Productivity and oil quality of (*Thymus vulgaris* L.) under organic fertilization conditions. *Ocean Journal of Applied Sciences*, 3(2).
- [51] **Hussein, M.S., S.E. El-Sherbeny, M.Y. Khalil, N.Y. Naguib and S.M. Aly, 2006.** Growth characters and chemical constituents of *Dracocephalum moldavica* L. plants in relation to compost fertilizer and planting distance, *Scientia Horticulturae*, 108(3): 322- 331.
- [52] **Khalil, M.Y. and S.E. El-Sherbeny, 2003.** Improving the productivity of three *Mentha species* recently cultivated under Egyptian conditions, *Egypt. J. Appl. Sci.*, 18(1): 285-300.

- [53] **Kirtikar, K.R., Basu, B.D., 2005.** Indian Medicinal Plants, vol. 2., 2nd ed. International Book Distributors, Dehradun, pp. 1076–1086.
- [54] **Gogte, V.M., 2000.** Ayurvedic Pharmacology and Therapeutic uses of Medicinal plants (Dravyagunavignyan)., pp. 686–687.
- [55] **Volpato, G., Kourkova, P., Zeleny, V., 2012.** Healing war wounds and perfuming exile: the use of vegetal, animal, and mineral products for perfumes, cosmetics, and skin healing among Sahrawi refugees of Western Sahara. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 8, 49–68.
- [56] **Koeduka T, Fridman E, Gang DR, Vassao DG, Jackson BL, Kosh ChM, OrlovaI, Spassova SM, Lewis NG, Noel JP, Baiga TJ, Dudareva N, Pichersky E, 2006.** Eugenol and iso eugenol, characteristics aromatic constituents of spices, are biosynthesized via reduction of a coniferyl alcohol ester. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103, 10128–11013.
- [57] **Omer EA, Abou Hussein E, Hendawy SF, Ezz El-din Azza A, El-Gendy AG, 2014.** Effect of nitrogen and potassium fertilizers on growth, yield, essential oil and artemisinin of *Artemisia annua* L. plant. *International Research Journal of Horticulture* 2, 11–20.
- [58] **Dragar VA, Menary RC, 1995.** Mineral nutrition of *Olearia phlogopappa* : effect on growth, essential oil yield, and composition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26, 1299–1313.
- [59] **Piccaglia R, Marotti M, Galletti GC, 1989.** Effect of mineral fertilizers on the composition of *Salvia officinalis* oil. *Journal of Essential Oil Research* 2, 73–83.
- [60] **Schaller RG, Schnitzler WH, 2000.** Nitrogen nutrition and flavor compounds of carrots (*Daucus carota* L.) cultivated in Mitscherlich pots. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80, 49–56.
- [61] **Singh VP, Chatterjee BN, Singh DV, 1989.** Response of mint species to nitrogen fertilization. *Journal of Agricultural Science* 113, 267–271.
- [62] **Thomas H, Cracker L, 1991.** Growing medium and fertilisation regime influence growth and essential oil content of rosemary. *HortScience* 26, 33–34.
- [63] **Galloa F., Multaria G, Palazzinoa G, Pagliuca G, Zadehb S. M, Nya Biapac P C, Nicolettid , 2014.** Henna through the centuries: a quick HPTLC analysis proposal to check henna identity. *Rev Bras Farmacogn* 24: 133-140.
- [64] **Upadhyay B, Dhaker AK, Singh KP, Kumar A., 2010.** Phytochemical analysis and influence of edaphic factors on lawsone content of *Lawsonia inermis* L. *J Phytol*; 2(6):47–54.
- [65] **Bakkali A. T., M. Jaziri, A. Foriers, Y. Vander Hyeden, M. Vanhaelen, J. Homès "Lawson accumulation in normal & transformed cultures of henna, *Lawsonia Inermis*" *Plant Cell, Tissue & Organ Culture* 1997, 51, 83-87.**
- [66] **Badri B. M., Burkinshaw, S. M., 1993.** Dyeing of Wool & Nylon 6.6 with Henna & *Lawsonia*. *Dyes and Pigments*, 22, 15-25.
- [67] **Simon, J.E, Chadwick A.F, Craker L.E, 1984.** The Scientific Literature on Selected Herbs and Aromatic and Medicinal Plant of the Temperate Zone. Archon Books, pp. 770
- [68] **Varghese, K.J., Silvipriya, K.S., Resmi, S., Jolly, C.I., 2010.** *Lawsonia inermis* (henna): a natural dye of various therapeutic uses – a review. *Inventi Rapid: Cosmeceuticals* (Article ID: *Inventi : cc/3/10) and Pigments* 1993, 22, 15-25.
- [69] **Bechtold, T., Mahmud-Ali, A., Mussak, R., 2007a.** Anthocyanin dyes extracted from grape pomace for the purpose of textile dyeing. *J. Sci. Food Agric.* 87, 2589–2595
- [70] **Bechtold, T., Mahmud-Ali, A., Mussak, R.A.M., 2007b.** Reuse of ash-tree (*Fraxinus excelsior* L.) bark as natural dyes for textile dyeing: process conditions and process stability. *Color. Technol.* 123, 271–279.

- [71] **Almeida, P.J., Borrego, L., Pulido-Melián, E., González-Díaz, O., 2012.** Quantification of p-phenylenediamine and 2-hydroxy-1, 4-naphthoquinone in henna tattoos. *Contact Dermat.* 66, 33–37.
- [72] **Lamchahab, F.Z., Guerrouj, B., Benomar, S., Ait, O.M., Senouci, K., Hassam, B., Benzekri,L., 2011.** Henna symbolic tattoo and real dermatitis. *Archiv. Pediatr. Adolesc. Med.* 18, 653–6127
- [73] **Jovanovic, D.L., Slavkovic, M.R., 2009.** Allergic contact dermatitis from temporary henna tattoo. *J. Dermatol.* 36, 63–65.