

EFFET DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE PAR LES HYDROCARBURES SUR LE LICHEN *Xanthoria parietina* (L.) Th (TELOSCHISTACEAE) DANS LA ZONE DE HASSI MESSAOUD (SAHARA SEPTENTRIONAL EST ALGERIEN)

KHELIL Rahma¹, OULD EL HADJ-KHELIL Aminata¹, DADAMOUSA Belkeir¹, CABELLO-HURTADO Francisco² et ESNAULT Marie-Andrée².

⁽¹⁾ *Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-Arides*
Université de Ouargla, 30000 Ouargla, Algérie

⁽²⁾ *UMR Ecobio 6553, Université de Rennes 1*
Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex, France

Résumé.- *Le présent travail porte sur la bio-détection de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures dans la zone de Hassi Messaoud située dans la région de Ouargla (Sahara septentrional Est algérien). Les lichens prélevés sur leur support dans le nord-est de l'Algérie (Annaba), sont utilisés comme modèle biologique pour évaluer les effets de cette pollution par transplantation pendant 75 jours. Les teneurs en composés solubles dans l'hexane (CSH) au niveau des transplants lichéniques augmentent puis diminuent au cours du temps d'exposition. La teneur en chlorophylle diminue en fonction de la période d'échantillonnage. Les modifications observées au cours du temps pourraient avoir pour origine deux causes, la pollution atmosphérique d'une part et la déshydratation des thalles sous l'effet de la température du milieu d'autre part.*

Mots-clés : *Lichen, transplantation, pollution atmosphérique, hydrocarbures.*

THE EFFECT OF AIR POLLUTION BY HYDROCARBONS ON THE LICHEN *XANTHORIA PARIETINA* (TELOSCHISTACEAE) IN THE AREA OF HASSI MESSAOUD (SOUTH-EASTERN ALGERIA)

Abstract.- *This work is focused on bio-detection air pollution by hydrocarbons in the area of Hassi Messaoud Ouargla region (Northern Sahara Algerian East). Lichens collected on their support in the northeast of Algeria (Annaba), are used as a biological model to assess the effects of this pollution transplantation for 75 days. The levels of soluble compounds in hexane (CSH) at the lichen transplants increase and then decrease during the exposure time. With respect to the chlorophyll content, it decreases as the sampling period. The changes observed over time could have originated two causes of air pollution on the one hand and dehydration thalli under the effect of the temperature of the other areas.*

Key words: *lichen, transplantation, air pollution, hydrocarbons.*

Introduction

L'exploitation des gisements de pétrole qui n'a cessé d'augmenter avec l'avènement de l'ère industrielle au XIX^{ème} siècle, entraîne des risques de pollution (accidentelle et chronique) pouvant influencer l'équilibre écologique et parfois entraîner la destruction de l'écosystème [1]. La nécessité d'estimer les quantités présentes, de contrôler l'accumulation des produits pétroliers, leur transformation et leur devenir, comme d'en estimer l'impact sur la flore, la faune et l'environnement devient une priorité. Toutefois, les processus d'analyse des compartiments abiotiques sont lourds et onéreux à mettre en œuvre [2]. C'est pourquoi la recherche d'espèces bio-indicatrices et/ou bio-accumulatrices a fait l'objet de nombreux

travaux [3,4].

GARREC et VAN HALUWYN (2002) définissent la bio-surveillance végétale comme l'utilisation d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution. Pour l'évaluation de la pollution de l'air, les organismes ou organes bio-indicateurs et/ou bio-accumulateurs les plus communément appliqués sont les aiguilles de pin [5], les algues marines [6], les lichens et les mousses [7, 8, 5, 9,10].

Les lichens sont très dépendants de la qualité de l'air et des eaux de pluie d'où ils tirent leur alimentation. Ils sont peu sensibles aux pics de pollution, ce sont des organismes intégrateurs d'une pollution de fond [11]. Ils peuvent donc nous informer sur la qualité de l'air. Ils ont été largement testés comme bio-indicateurs et/ou bio-accumulateurs de la pollution atmosphérique au cours des 40 dernières années depuis les travaux de HAWKSORTH et ROSE en 1970 comme indicateurs de la concentration en SO₂ [12, 13,14].

Récemment, les lichens ont été utilisés pour la bio-surveillance de la contamination par les oligo-éléments en Italie, dans la Province de Pise [15] et en Vénétie [16, 17], pour étudier l'effet de la pollution liée aux activités industrielles en Argentine [18], de la contamination par les métaux lourds en zone subarctique [14, 19] et pour la détermination de la concentration en zinc dans l'Ouest de l'Irlande [6] et en Finlande [20]. Ils ont également été choisis comme bio-indicateurs des hydrocarbures aromatiques totaux (HAP) [5] et se sont révélés accumuler des concentrations de HAP plus élevées que les aiguilles de pins [21].

L'objectif de la présente étude est donc de rechercher une espèce végétale pouvant être bio-indicatrice des niveaux de concentration en hydrocarbures totaux dans un contexte de bio-surveillance. Le choix s'est porté sur un lichen connu comme bio-indicateur du degré de pollution atmosphérique d'où il a été transplanté dans la zone de Hassi Messaoud afin d'évaluer son utilisation potentielle sur une période de 75 jours.

1.- Matériel et méthodes

L'étude a été réalisée dans la localité de Hassi Messaoud (HMD). Aucun lichen de grande taille n'étant présent dans cette zone saharienne, pour cela nous avons choisi d'introduire une espèce bien répandue dans les forêts du nord de l'Algérie (Annaba) comme exemple. Cette méthode avait l'avantage de permettre une introduction de l'espèce sur son support donc sans léser l'échantillon. L'objectif était de déterminer si dans les conditions sahariennes, l'espèce pouvait continuer à se développer pendant le temps d'exposition pour être une espèce utilisable en bio-indication.

L'espèce lichénique retenue est une espèce largement répandue, récoltée au niveau de la localité d'El Chut dans la région d'Annaba (Algérie). Il s'agit du *Xanthoria parietina* (L.) Th. (Teloschistaceae), espèce à thalle foliacé, nitrophile se développant sur différents phorophytes et notamment sur le caroubier *Ceratonia siliqua* L. (Fabaceae) qui a été retenu pour la transplantation. Les branches recouvertes de thalles sont prélevées puis fixées à l'aide d'une ficelle à une hauteur de 1,5 m du sol.

A chaque échantillonnage ou prélèvement, quelques thalles sont détachés du phorophyte à l'aide d'un couteau. Les échantillons sont placés dans des sachets en plastique, afin de limiter les pertes d'eau par évapotranspiration jusqu'à l'arrivée au laboratoire. Les prélèvements ont lieu tous les 15 jours pendant 75 jours. Les thalles transplantés sont tous prélevés le même jour et soumis aux dosages des CSH et de la chlorophylle.

Pour une connaissance des niveaux de pollution dans une zone d'étude, il est important de mettre en place un réseau d'échantillonnage en essayant de choisir des sites en nombre suffisant et répartis autour de la source de pollution. Le nombre de sites doit être plus important sous les vents dominants et plus réduits dans les autres directions [22]. Pour couvrir la zone d'échantillonnage, huit sites sont choisis à Hassi Messaoud, dont 3 sites au niveau du Centre Industriel Naili Abdelhalim (CINA) au Nord de Hassi Messaoud, un site au niveau de la zone industriel au centre de Hassi Messaoud, 4 sites au niveau des cités à densité de population élevée de Hassi Messaoud (cité 1850 logements, cité 136 logements, cité Bouamama et en fin la cité 1666 logements), pour avoir un totale de 8 sites.

Il est à noter qu'il est procédé au dosage de tous les composés solubles dans l'hexane y compris les hydrocarbures (dosage indirecte des hydrocarbures).

Les composés solubles dans l'hexane (CSH) sont obtenus par extraction au soxhlet. La phase organique présente dans la masse biologique est ainsi extraite dans le solvant organique (N-hexane). Dans une cartouche en cellulose préalablement conditionnée à l'hexane (pendant 4 heures), 0.5 g de thalles de lichens sont additionnés de 1g de sulfate de sodium anhydre pour éliminer toute trace d'eau. L'extraction est effectuée avec 100 ml de N-hexane. Le tout est mis dans l'extracteur soxhlet placé sur une plaque chauffante à la température d'ébullition du N-hexane (70°C), durant 3 à 4 heures. Une éprouvette contenant une solution concentrée de NaOH, est reliée au dispositif d'extraction par un tuyau servant à l'échappement des gaz toxiques. Après extraction, les composés sont quantifiés dans un creuset par gravimétrie. L'hexane est évaporé au bain-marie, puis dans un dessiccateur contenant du gel de silice pendant 30 min. La teneur en composés solubles dans l'hexane est exprimée en mg.g^{-1} de matière sèche de thalle lichénique [23].

La quantification de la chlorophylle est effectuée en utilisant la méthode établie par LICHTENTHALER et WELLBURN (1983). Pour cela, 0.5 g de thalle sont pesés puis broyés au mortier en présence de 5 ml d'acétone à 80%. Le mélange obtenu est centrifugé 15 min à 4100 tours.min⁻¹, puis le surnageant est récupéré. L'absorbance (A) est mesurée au spectromètre à 663 nm et 645 nm. Pour calculer les quantités de chlorophylle a et b (Chl a, Chl b), les équations ci-dessous sont utilisées [24]:

- Teneur en chlorophylle a ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)

$$\text{Chl a} = 12,21 A_{663} - 2,81 A_{645}$$

- Teneur en chlorophylle b ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)

$$\text{Chl b} = 20,13 A_{645} - 5,03 A_{663}$$

- Teneur en chlorophylle totale ($\mu\text{g.ml}^{-1}$)

$$C = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

2.- Résultats

2.1.- Variations des teneurs en composés solubles dans l'hexane (CSH)

Lors de leur installation, les lichens prélevés de la région de Annaba (El chut), une zone loin de toute source de pollution ou *Xanthoria parietina* se développe considérablement, cette espèce végétale renferme une quantité de $5600\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ MS de GSH qui est retenue comme valeur témoin de la présente étude (T0 avant transplantation). Après transplantation, quelle que soit la date de prélèvement les teneurs en CSH dépassent celles de l'échantillon témoin et fluctuent dans le temps (fig. 1).

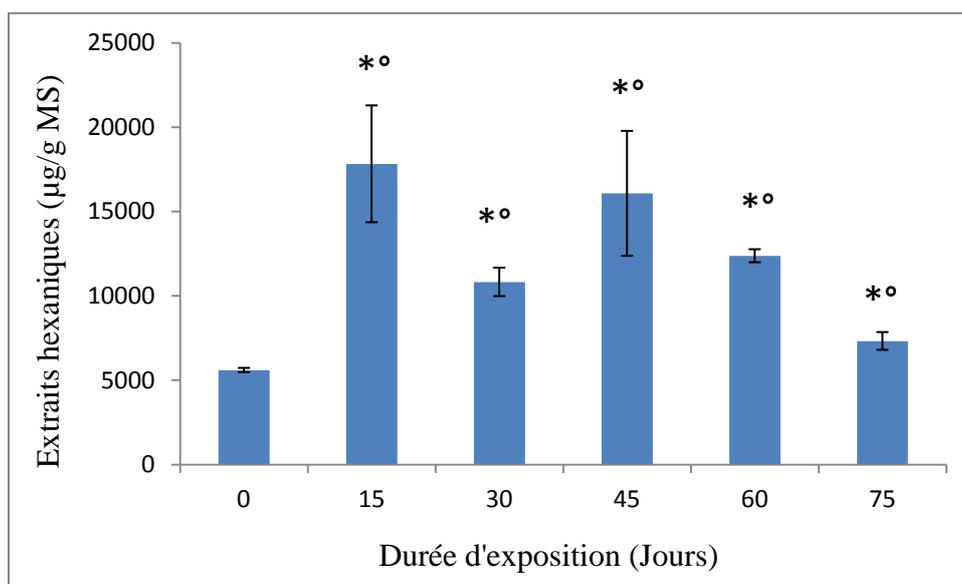


Figure 1.- Evolution des teneurs en composés solubles dans l'hexane (CSH) aux différents temps de prélèvement. La barre sur les histogrammes correspond à l'écart standard à la moyenne. Un test de student (*) et un test de Mann-Whitney (°) ont été utilisés pour comparer les mesures par rapport au témoin ($p < 0,05$).

Les lichens accumulent les CSH en fonction de la durée d'exposition jusqu'à une certaine limite. Le maximum d'accumulation est atteint après 15 jours d'exposition avec une teneur moyenne de $17825\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, soit une augmentation d'un facteur 3,1. Après ce maxima, il y a eu globalement une diminution avec des fluctuations des teneurs en CSH. En fin d'expérimentation (après 75 jours), celles-ci tendent à un retour aux valeurs initiales.

2.2.- Variation de la teneur en chlorophylle

Les teneurs en chlorophylle subissent une régression remarquable dans la zone d'étude, depuis le témoin qui montre une valeur de chlorophylle totale de $5,79\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ MS jusqu'à la valeur de $1,87\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ MS à la fin de l'expérimentation (fig. 2).

3.- Discussion

La zone de Hassi Messaoud, située à proximité des torchères d'exploitation pétrolière qui représentent une source d'émission d'hydrocarbures, présente des teneurs en

composés solubles dans l'hexane qui varient au cours de l'expérimentation. L'origine de ces composés solubles dans l'hexane peut être liée à cette pollution mais elle peut également provenir du végétal lui-même. En effet, l'hexane extrait également des molécules synthétisées par les lichens [25]. Toutefois, les lichens ayant une croissance extrêmement lente en raison de quelques millimètres par an, l'augmentation des teneurs en CSH dans les extraits après exposition sur une période relativement courte (75 jours) pour ces espèces, pourrait montrer que l'origine de ces composés serait plutôt liée à la pollution. De plus, la bio-accumulation, définie comme la somme des absorptions d'un polluant par voie directe pour une espèce végétale, est bien connue chez les lichens [26]. Ces phénomènes d'accumulation seraient dus aux particularités physiologiques des lichens qui ont la capacité de stocker les contaminants dans leurs tissus [27]. Pour cela, ils sont utilisés pour la mesure intégrée de la concentration des contaminants dans l'environnement. En effet, chez les lichens, le polluant ne jouerait pas de rôle fondamental dans le métabolisme et semble être stocké à l'intérieur des cellules. Lorsque sa concentration devient toxique pour la cellule, celle-ci est détruite ce qui se traduit par des symptômes de nécrose et des décolorations qui gagnent progressivement toutes les parties du thalle [11]. Des phénomènes d'adsorption et désorption des contaminants impliquant probablement majoritairement des phénomènes passifs expliqueraient les teneurs en polluants relevées dans les études de ce type [28]. Cette accumulation a été démontée dans le cas de la pollution aux hydrocarbures aromatiques polycycliques [4]. Toutefois, les mécanismes impliqués n'étant pas connus, il convient de rester prudent dans l'interprétation des résultats à l'instar de LOPPI *et al.* (2002, 2010) [29, 30].

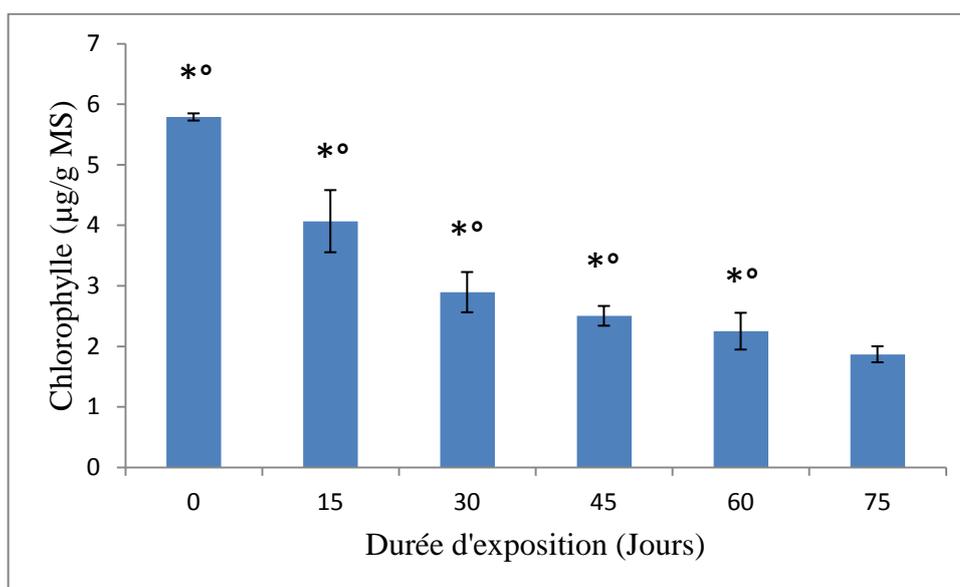


Figure 2.- Evolution de la teneur en chlorophylle des différents temps de prélèvement. La barre sur les histogrammes correspond à l'écart standard à la moyenne. Un test de student (*) et un test de Mann-Whitney (°) ont été utilisés pour comparer les mesures par rapport au témoin ($p < 0,05$).

La teneur en pigments foliaires constitue une des principales signatures de l'état physiologique des plantes. Ils permettent l'assimilation de l'énergie lumineuse par la plante, interviennent lors de sa croissance et la protègent contre une multitude de facteurs tout au long de sa vie. La chlorophylle, principal pigment foliaire, est souvent utilisée comme indicateur pour évaluer le rendement potentiel d'une culture, la biomasse d'une forêt, pour

détecter des carences nutritionnelles ou encore comme témoin pour divers types de pollution. Les teneurs en chlorophylle enregistrées à la fin de l'expérimentation sont très faibles. Ces valeurs diminuent au cours de la durée d'exposition et se traduisent par une décoloration des lobes des thalles, qui atteint par la suite tout le thalle en fonction de l'intensité de la pollution. Ces résultats peuvent être le témoin de la sensibilité de la photosynthèse et de la teneur en chlorophylle dans des conditions de pollutions. La quantification de la chlorophylle est largement utilisée pour évaluer l'état des échantillons et fournir une indication précoce du stress physiologique [31, 32]. Ainsi, elle a été utilisée pour montrer la tolérance et les effets chroniques de métaux lourds et autres xénobiotiques dans les lichens [33, 34, 35]. D'après DERUELLE et LALLEMANT (1983), des observations microscopiques montrent une plasmolyse progressive des cellules algales sous l'effet de la pollution qui perdent finalement leur coloration verte, à cause de la destruction des chlorophylles transformées en phaeophytine avant une dégradation complète de tous les pigments y compris les carotènes et les xanthophylles. La dégradation des chlorophylles en phaeophytine a d'ailleurs été utilisée comme une mesure des dommages causés par des concentrations élevées en SO₂ dans les lichens ou pour l'évaluation des effets de la pollution en métaux lourds dans les lichens épiphytes transplantés [36, 37]. Une étude à grande échelle des lichens a montré que la capacité de la photosynthèse est fortement corrélée à la concentration de la chlorophylle a [38].

Conclusion

Les lichens accumulent les polluants hydrocarbonés sur un intervalle de temps bien déterminé (75 jours). Suite aux résultats obtenus dans la présente étude et compte tenu des travaux antérieurs, *Xanthoria parietina* pourrait être une espèce modèle pour l'étude de la bio-accumulation des polluants hydrocarbonés. Les teneurs en composés solubles dans l'hexane accumulées par cette espèce ainsi que les résultats sur la teneur en chlorophylle, sont probablement dues, d'une part, aux facteurs intrinsèques propres à l'espèce étudiée (pouvoir accumulateur de *Xanthoria parietina*) et d'autre part, aux facteurs climatiques de la zone d'étude. Cependant, l'usage des lichens pour la bio-surveillance végétale pour estimer la qualité de l'air apparaît très limité dans le temps vu les conditions climatiques en zone saharienne caractérisée par des fortes températures et une faible humidité. Pour cela, nous suggérons d'élargir cette approche par l'utilisation d'autres modèles de bio-surveillance comme les végétaux supérieures locaux déjà adaptant aux conditions climatique désertique. Citant le palmier dattier comme bio-indicateurs et bio-accumulateurs de la pollution atmosphérique en zones arides et semi arides.

Références bibliographiques

- [1] - Soltani M., 2004.- Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram-négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, 284 p.
- [2] - Sanderson E.G., Ragbi A., Kyskocil A., Farant J.P., 2004.- Comparaison of particulate polycyclic aromatic hydrocarbon profiles in different regions of Canada. Atmospheric Environment, 38: 3417-3429.
- [3]- Wolterbeek B., 2002.- Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. Environmental Pollution, 120: 11-21.

- [4]- Guidotti M., Stella D., Owczarek M., De Marco A., De Simone C., 2003.- Lichens as polycyclic aromatic hydrocarbon bioaccumulators used in atmospheric pollution studies. *Journal Chromatography (A)*, 985: 185-190.
- [5]- Migaszewski Z.M., Galuszka A., Paslawski P., 2002.- Polynuclear aromatic hydrocarbons, phenols, and trace metals in selected soil profiles and plant bioindicators in the Holy Cross Mountains South-Central Poland. *Environmental International*, 28: 303-313.
- [6]- Stengel D.B., Macken A., Morrison L., Motley N., 2004.- Zinc concentrations in marine macro algae and lichen from Western Ireland in relation to phylogenetic grouping habitat and morphology. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 902-909.
- [7]- Gerdol R., Bragazza L., Marchesini R., 2002.- Element concentrations in the forest moss *Hylocomium splendens*: variation associated with altitude, net primary production and soil chemistry. *Environment Pollution*, 166: 129-135.
- [8]- Gerdol R., Bragazza L., Marchesini R., Medici A., Pedrini P., Benedetti S., Bovolenta A., Coppi S., 2002.- Use of moss (*Tortula muralis* Hedw.) for monitoring organic and inorganic air pollution in urban and rural sites in Northern Italy. *Atmospheric Environment*, 36: 4069-4075.
- [9]- Zhang Zh. H., Chai Z. F., Mao X. Y., Chen J.B., 2002.- Biomonitoring trace element atmospheric deposition using lichens in China. *Environmental Pollution*, 120: 157-161.
- [10]- Ra H.S.Y., Geiser L.H., Crang R.F.E., 2005.- Effects of season and low-level air pollution on physiology and element content of lichens from the U.S. pacific North West. *Science of the Total Environment*, 343: 155-167.
- [11]- Deruelle S., Lallemand R., 1983. *Les lichens témoins de la pollution*. Ed. Vuibert. Université de biologie, Paris 108 p.
- [12]- Calatayud M.J., Sanz M.J., Calvo E., Barreno E., Del Valle-Tascon X., 1996.- Chlorophyll a fluorescence and chlorophyll content in *Parmelia quercina* thalli from a polluted region of northern Castellon (Spain). *Lichenologist*, 28: 49-65.
- [13]- Garty J., Karary Y., Harel J., Lurie S., 1993.- Temporal and spatial fluctuation of ethylene production and concentrations of sulphur, sodium, chlorine and iron on/in the thallus cortex in the lichen *Ramalina duriaei* (De Not.) Bagl. *Environmental and Experimental Botany*, 33: 553-563.
- [14]- Thomas H. Nash III, Gries C., 1995.- The response of lichens to atmospheric deposition with an emphasis on the Arctic. *Science of the Total Environment*, 160/161: 737-747.
- [15]- Scerbo R., Ristori T., Possenti L., Lampugnani L., Barale R., Barghigiani C., 2002.- Lichen *Xanthoria parietina* biomonitoring of trace element contamination and air quality assessment in Pisa Province (Tuscany, Italy). *Science of the Total Environment*, 286: 27-40.

- [16]- Nimis P.L., Lazzarin G., Lazzarin A., Skert N., 2000.- Biomonitoring of trace elements with lichens in Veneto (NE Italy). *Science of the Total, Environment*, 255: 97-111.
- [17]- Nimis P.L., Andreussi S., Pittao E., 2001.- The performance of two lichen species as bioaccumulators of trace metals. *Science of the Total, Environment* 275: 43-51.
- [18]- Gonzalez C.M., Casanovas S.S., Pignata M.L., 1996.- Biomonitoring of air pollutants from traffic and industries employing *Ramalina ecklonii* (Spreng.) Mey. and Flot. in Cordoba, Argentina. *Environmental Pollution*, 91: 269-277.
- [19]- Poblet A., Andrade S., Scagliola M., Vodopivec C., Curtosi A., Pucci A., Marcovecchio J., 1997.- The use of epilithic antarctic lichens (*Usnea aurantiacoatra* and *U. antarctica*) to determine deposition patterns of heavy metals in the Shetland Islands, Antarctica. *Science of the Total, Environment*, 207: 187-194.
- [20]- Takala K., Salminen R., Olkkonen H., 1998.- Geogenic and anthropogenic zinc in epiphytic and terricolous lichens in Finland. *Jornal of Geochemical Exploration*, 63: 57-66.
- [21]- Augusto S., Máguãs C., Matos J., Pereira M.J., Branquinho C., 2010.- Lichens as an integrating tool for monitoring PAH atmospheric deposition: A comparison with soil, air and pine needles. *Environmental Pollution*, 158: 483-489.
- [22]- Semadi A. 1989.- Effet de la pollution atmosphérique, pollution globale, fluorée, plombique sur la végétation dans la région de Annaba (Algérie). Thèse de Doctorat en sciences naturelles : Université Pierre et Marie Curie, 339 p.
- [23]- Rouidi S., 2001.- Cartographie de la pollution par les hydrocarbures totaux au niveau de la plate-forme industrielle de Skidda. Mémoire de Magister, Université de Constantine, 111 p.
- [24]- Lichtenthaler H.K., Wellburn R.R. 1983.- Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 603: 591-592.
- [25]- Roux C., Coste C., Bricoud O. et Masson D., 2007.- Lichens et champignons lichénicoles du parc national des Cévennes (France). 4- le massif de l'Aigoual- *Bull. Soc. Linn. Provence*, 58 : 103-125.
- [26]- Ramade F., 1982.- *Elément d'écologie appliquée*. Ed. MC Graw Hill 50, 92-93, 452 p.
- [27]- Conti M.E., Cecchetti G., 2001.- Biological monitoring: lichens as bio-indicators of air pollution assessment- a review. *Environmental Pollution*, 114: 471-492.
- [28]- Sloof J.E., 1995.- Lichens as quantitative biomonitors for atmospheric trace-element deposition using transplants. *Atmospheric Environment*, 29: 11-20.
- [29]- Loppi S., Giordani P., Brunialti G., Isocrono D., Piervittori R., 2002.- Identifying

- deviation from naturalness of lichen diversity for bioindication purposes. In: Nimis P.L., Scheidegger C., Wolseley P., Monitoring with lichens- Monitoring Lichens. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands : 281-284.
- [30]- Loppi S., Nascimbene J., 2010.- Monitoring H₂S air pollution caused by the industrial exploitation of geothermal energy: The pitfall of using lichens as bio-indicators. *Environmental Pollution*, 158: 2635-2639.
- [31]- Maxwell K., Johnson G.N., 2000.- Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51: 659-668.
- [32]- Ramade F., 2007.- Introduction à l'éco-toxicologie. Fondements et applications. Ed. Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 618 p.
- [33]- Chettri M.K., Cook C.M., Vardaka E., Sawidis T., Lanaras T., 1998.- The effect of Cu, Zn and Pb on the chlorophyll content of the lichens *Cladonia convoluta* and *Cladonia rangiformis*. *Environmental and Experimental Botany*, 39: 1-10.
- [34]- Riga-Karandinos A.N., Karandinos M.G., 1998.- Assessment of air pollution from a lignite power plant in the plain of Megalopolis (Greece) using as biomonitors three species of lichens; impacts on some biochemical parameters of lichens. *Science of the Total Environment*, 215: 167-183.
- [35]- Dzubaj A., Backor M., Tomko J., Peli E., Tuba Z., 2008.- Tolerance of the lichen *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. to metal stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70: 319-326.
- [36]- Garty J., 1987.- Metal amounts in the lichen *Ramalina duriae* transplanted at biomonitoring sites around a new coal-fired power station after 1 year of operation. *Environmental Research*, 43: 104-116.
- [37]- Sanz M.J., Gries C., Nash TH. 1992. Dose-response relationships for SO₂ fumigation in the lichens *Evernia prunastri* (L.) Ach. and *Ramalina fraxinea* (L.) Ash. *New Phytologist*, 122: 313-319.
- [38]- Palmquist K., Dahlman L., Valla Dares F., Tehler A., Sancho L.G., Mattsson J-E., 2002.- CO₂ exchange and thallus nitrogen across 75 contrasting lichen associations from different climate zones. *Oecologia*, 133: 295-306.