

Intérêt de la biosurveillance végétale de la pollution atmosphérique pour les pays en émergence. Exemple de l'Algérie

Interest of vegetal biomonitoring for air quality in emerging countries: Algeria example

M'Hamed MAATOUG⁽¹⁾, Mohamed AIT HAMMOU*, Mohamed SARMOUM*

Résumé

La surveillance classique de la pollution atmosphérique obéit à des contraintes spécifiques qui demandent le déploiement de techniques élaborées et coûteuses. Ces contraintes ont conduit l'Algérie à privilégier l'utilisation d'organismes vivants dans lesquels les contaminants surveillés sont dosés : la biosurveillance. Le présent article présente les intérêts économique, politique, pédagogique et scientifique de l'usage de la biosurveillance, en s'appuyant sur des applications concrètes telles que l'usage de la bioindication lichénique dans la surveillance de dépérissement des forêts, ou encore l'étude de la pollution atmosphérique par les métaux lourds en milieu urbain. Le développement des programmes de biosurveillance demeure nécessaire pour compléter les outils de veille sanitaire. Ces outils de biosurveillance sont, en effet, devenus indispensables pour orienter la politique publique en matière de gestion des risques sur l'environnement.

Mots-clés

Algérie. Biosurveillance. Pollution atmosphérique. Ozone. Métaux lourds.

Abstract

Conventional monitoring of air pollution is subject to specific constraints that require the deployment of sophisticated and expensive techniques. These constraints have led Algeria to promote the use of living organisms in which the contaminants monitored are determined: biomonitoring. This paper presents the economic, political, educational and scientific use of biomonitoring based on practical applications such as: the use of lichen bioindication in monitoring forest decline, or the study of air pollution by heavy metals in urban areas. The development of biomonitoring programs is still needed to complete public health monitoring tools. These tools are biomonitoring, in fact, become essential to guide public policy on risk management on the environment.

Keywords

Algeria. Biomonitoring. Air pollution. Ozone. Heavy metals.

* Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie – Université Ibn Khaldoun, Tiaret – Algérie.

1. Professeur au département des Sciences de la Nature et de la Vie – maatoug_m@mail.univ-tiaret.dz

État actuel de pollution atmosphérique et de son impact en Algérie

Dans la plupart des villes algériennes, les principales sources de pollution atmosphérique sont directement liées à la densité du trafic automobile, en croissance constante avec des véhicules utilisant le plus souvent des carburants non conformes aux règles édictées en matière de protection de l'environnement. Cette pollution affecte la plupart des grandes agglomérations (Alger, Oran, Constantine et Annaba). Les principaux réseaux physico-chimiques de mesure et de surveillance de la qualité de l'air sont installés à Alger. Dans certaines villes, telles que Annaba, Arzew, Ghazaouet, l'air est avant tout pollué par les industries dont les équipements de traitement des gaz et fumées chargées de particules sont souvent inexistantes.

En Algérie, selon le ministère de l'Environnement (2010), le secteur des transports occupe le premier rang en termes d'émissions des polluants atmosphériques avec 51 %, suivi de l'industrie avec 47,25 %.

Les polluants libérés dans l'atmosphère ont des effets particulièrement néfastes et ont été reconnus comme étant à l'origine de maladies respiratoires chroniques et quelquefois sévères apparaissant chez les populations.

Les données démographiques et épidémiologiques actuellement disponibles permettent d'évaluer l'importance de la morbidité respiratoire et son évolution prévisible. Selon des projections sur la situation épidémiologique en Algérie en 2010 (ministère de l'Environnement), il est prévu que chaque année, 10 à 12 millions d'Algériens auront à consulter un médecin pour des maladies respiratoires liées à, ou aggravées par la pollution atmosphérique. Selon les prévisions sur 2010, environ 300 000 algériens seront atteints de pneumonie et 700 000 d'asthme. Pour la bronchite chronique, 250 000 algériens souffriront de cette maladie, alors que pour le cancer bronchique primitif, ils seront de l'ordre de 3 600.

L'effet de la pollution de l'air sur la santé publique est de loin le plus important par rapport aux effets sur les autres milieux « biologiques » en termes de dépense dans notre pays, soit 0,94 % du PIB. Il est également prouvé que le taux de mortalité dû à la dégradation de l'air est de l'ordre de 0,93 %. Malgré l'existence d'un début de dispositif antipollution, les autorités mettent en garde contre l'intensification certaine du trafic routier, car l'inexistence d'une réglementation stricte pour le contrôle fait craindre des émissions de volumes croissants de rejets de polluants gazeux. Cela au moment où dans d'autres pays ces mêmes polluants connaissent une réduction certaine. En effet, le développement industriel a contribué largement à la dégradation de la qualité de l'air, notamment aux environs des grandes concentrations industrielles telles qu'Annaba, Alger, Tlemcen, Arzew et Skikda.

Les mesures effectuées au niveau de ces stations situées à Alger concernent les oxydes d'azote, les hydrocarbures totaux, le monoxyde de carbone, les poussières en suspension, ainsi que les paramètres météorologiques (direction et force du vent, température et humidité). Les autres villes algériennes sont complètement dépourvues de capteurs de pollution, aussi bien globale que spécifique. En plus de leur coût d'installation assez onéreux, ces capteurs assez sophistiqués nécessitent des relevés en continu très contraignants et une attention particulière, telle que des réglages précis et réguliers.

La surveillance classique de la pollution atmosphérique obéit à des contraintes spécifiques qui demandent le déploiement de techniques élaborées et coûteuses. Ces contraintes ont conduit l'Algérie à privilégier l'utilisation d'organismes vivants dans lesquels les contaminants surveillés sont dosés : la biosurveillance.

La biosurveillance est définie comme l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour suivre l'évolution de celle-ci [Garrec et Van Haluwyn, 2002]. Depuis le début des années 1990, une trentaine de pays européens ont mis en place un réseau de biosurveillance des retombées atmosphériques à l'aide des végétaux : lichens, mousses, etc.

Intérêt scientifique de la biosurveillance en Algérie

De nombreux laboratoires, en Algérie, s'occupent de la détermination des substances chimiques nocives pour les végétaux dans l'air des villes et des complexes industriels ; ainsi, plusieurs chercheurs ont démontré que les plantes et les animaux sensibles peuvent être de véritables bio-indicateurs de pollution. En particulier, cette technique de « biosurveillance » utilise des organismes qui ont la capacité de stocker les polluants dans leurs tissus, les « bio-accumulateurs », suite à des mécanismes de fixation et de transfert. Cette méthode s'est imposée comme un complément intéressant des techniques traditionnelles de mesures de la qualité de l'air. L'identification de la pollution au sein d'organismes vivants sensibles permet également de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope ou l'homme.

À partir des nombreux travaux scientifiques réalisés par des chercheurs algériens, l'utilisation de la bio-indication s'avère très utile dans les agglomérations urbaines connues pour avoir une forte pollution liée au trafic routier. C'est le cas notamment de la ville d'Alger qui compte environ trois millions d'habitants et plus de 600 000 véhicules [ONS, 2005]. L'approche

appliquée a, en particulier, consisté à doser les éléments polluants *in situ*, notamment les métaux lourds (Pb, Zn, Cu, Cd, etc.) dans les thalles du lichen *Xanthoria parietina* prélevés dans différents sites de quelques agglomérations algériennes [Smadi, 1993 ; Rahali, 2003 ; Maatoug, 2010].

Les mesures d'ozone effectuées en Algérie donnent des valeurs voisines des limites supérieures des normes internationales, et une tendance à la hausse de sa concentration s'explique principalement par la croissance du trafic routier qui est à l'origine des émissions des gaz précurseurs de ce polluant.

Plusieurs recherches réalisées au moyen de végétaux (arbres, feuilles de tabac) ont montré qu'en Algérie l'ozone constitue et constituera à l'avenir un danger potentiel et grave qui affectera aussi bien l'homme que l'ensemble des écosystèmes terrestres. Bien qu'il n'existe pas, à l'heure actuelle, de structure nationale pour l'étude et l'évaluation des impacts de l'ozone, à partir des résultats de recherche réalisés à l'étranger, on peut dire que l'Algérie est particulièrement vulnérable à l'ozone troposphérique du fait qu'elle jouit, de par sa situation géographique, d'un rayonnement solaire intense, moteur de la production de ce polluant.

Intérêt politique

L'Algérie a connu un développement, aussi bien sur le plan urbain qu'industriel. Ce dernier s'est répercuté négativement sur la qualité de l'air. Cependant, au cours de ces dernières années, la pollution atmosphérique due aux foyers fixes de combustion a notablement diminué grâce à des mesures réglementaires, à la politique énergétique, à l'extension des réseaux collectifs de chauffage urbain et au déploiement industriel.

En 2010, l'Algérie a lancé un programme national de recherche PNR, *via* le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique (direction générale de la recherche scientifique et du développement technologique). Ce programme souhaite renforcer des recherches sur les questions de vulnérabilité des systèmes « biologiques » par une approche sociale et économique. L'objectif principal est la réduction du coût de revient des transferts de technologies de lutte contre les pollutions, ainsi que la prise en charge de la gestion des effets sur les populations et les écosystèmes. Tout ceci afin de développer une politique nationale de l'environnement au sein des entreprises, et de développer leurs capacités d'observation, de prévision et d'investigation scientifique.

Parmi les thématiques lancées, lors de ces PNR, on peut noter : la biosurveillance des écosystèmes, la prévention des risques et la détection des agents polluants, la réduction des tensions sur les ressources naturelles et la limitation des atteintes à l'environne-

ment. L'objectif principal est d'utiliser ces résultats comme un outil d'aide à la décision en matière de politique de santé humaine.

Intérêt économique

La quantification de la pollution atmosphérique en Algérie est difficile à établir en raison de la quasi-absence de résultats de mesures directes des concentrations de polluants. Selon le ministère de l'Environnement, le nombre d'unités industrielles taxées (taxe de pollution) est passé de 1 530 en 2005 à plus de 2 000 unités durant le premier semestre 2006. La plupart de ces industries ne sont pas dotées d'une technologie permettant le contrôle de la pollution, et celles qui disposent d'un système de contrôle des émissions dans l'air ou de traitement des eaux ne maîtrisent pas ce type d'installations. Les méfaits les plus importants sont la pollution de l'air par le dioxyde de soufre, les particules, les oxydes d'azote. De plus, l'industrie produit des déchets dangereux qui prolifèrent et sont souvent stockés dans des dépôts de fortune et dans un état déplorable. Ces déchets ont été évalués en 1994 à environ 185 000 tonnes/an, et la même étude évaluée à 344 000 tonnes les déchets dangereux et toxiques stockés, dont 90 % dans les *wilayas* d'Annaba et de Tlemcen.

Les rejets énormes d'oxyde de carbone par un parc automobile croissant et composé de véhicules âgés (80 % ont plus de dix ans) sont hors des normes acceptées à l'échelle internationale.

L'utilisation des organismes sensibles comme bio-indicateurs de pollution permettra de vérifier l'efficacité des efforts antipollution entrepris au niveau de la qualité des véhicules importés en Algérie, ainsi que l'apport positif pour la qualité de l'air du GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) par rapport aux autres combustibles. De même, les résultats des méthodes de biosurveillance pourront fournir aux industriels concernés, des informations pour équiper leurs usines avec des technologies et des systèmes de récupération et de purification des rejets gazeux.

Intérêt pédagogique

L'utilisation des méthodes biologiques pour contrôler la qualité de l'air, de par son intérêt pédagogique évident (visualisation de la pollution à partir des nécroses foliaires, par exemple) pourra permettre la sensibilisation du public aux problèmes de pollution atmosphérique, mais aussi facilitera la formation de cadres (masters, magisters, doctorats) et de techniciens spécialisés. Le renforcement de ces capacités de formation passe par l'existence de supports techniques indispensables : laboratoires, équipements, matériels, outils d'analyse, modèles de simulation,

documentation et mise à jour de l'information, mais aussi par l'existence de mécanismes de dialogue, de concertation et de coordination au niveau national comme international.

Exemples d'utilisation de la biosurveillance pour étudier la pollution atmosphérique par les métaux lourds en milieu urbain

La pollution d'origine routière dans les villes est sans doute l'une des préoccupations majeures des autorités, tant par ses répercussions sur la santé humaine, que par les pertes économiques qu'elle engendre (oxydation des peintures des bâtiments, par exemple). La mise en place d'un réseau de capteurs physico-chimiques pour la surveillance des teneurs en polluants atmosphériques est nécessaire pour orienter les décideurs quant à l'organisation du trafic routier pour diminuer les effets néfastes de ces polluants.

Cependant, la mise en place de ce réseau demande des moyens lourds (appareillages de détection, personnels qualifiés) et nécessite un suivi permanent. Or ce dispositif n'est actuellement fonctionnel que dans certaines villes d'Algérie (particulièrement Alger). La biosurveillance paraît alors comme une méthode alternative aux méthodes physico-chimiques. Elle est à la fois rapide et peu coûteuse, ce qui facilite la multiplication des points de surveillance. Elle permet aussi de définir la nature et la répartition spatio-temporelle des polluants présents dans l'air et le sol ainsi que leur danger pour les êtres vivants.

L'utilisation des lichens, par exemple, constitue un outil simple, rapide et économique, comparativement aux méthodes physico-chimiques classiques nécessitant des manipulations de matériels onéreux. Elle permet une « surveillance environnementale » à proximité de sources fixes ponctuelles ou très étendues (agglomérations), ainsi qu'une évaluation sur le long terme des désordres écologiques causés par les aérocontaminants sur la biodiversité et sur la densité des « populations végétales ».

En Algérie, l'usage des lichens pour évaluer la qualité de l'air demeure un domaine vierge, mis à part les quelques études réalisées dans la région d'Alger [Rahali, 2003], d'Annaba [Semadi, 1993] et de Tiaret [Maatoug, 2007 et 2010]. Un suivi de ces études est plus que nécessaire.

Dans les villes et au voisinage des grands axes de circulation automobile, les feuilles des arbres sont de véritables collecteurs de poussières et de métaux lourds. Dans ce contexte, une quantification des retombées métalliques en plomb, en zinc et en cuivre

d'origine routière a été réalisée dans la ville de Tiaret*. L'utilisation des arbres pour estimer les retombées métalliques d'origine routière en milieu urbain a montré que les analyses des feuilles de platane et de cyprès vert permettent d'avoir des informations sur les émissions de trois métaux lourds (Pb, Zn, Cu) au niveau de la ville de Tiaret [Maatoug, 2007].

Les résultats obtenus montrent aussi que les feuilles de platane, qui sont lisses et larges, accumulent plus fortement le zinc que le plomb. Comparativement, les feuilles de cyprès accumulent plus le plomb que le zinc. Par contre, le cuivre s'accumule faiblement dans les échantillons foliaires des deux essences.

Une autre étude, réalisée également par Maatoug [2010], a concerné la cartographie de la pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière, ainsi qu'une estimation des concentrations de ce polluant dans la ville de Tiaret. Le plomb a été dosé sur 48 lichens de *Xanthoria parietina*, transplantés dans différents sites localisés à proximité des axes routiers dans et à l'extérieur de l'agglomération. Les valeurs enregistrées pour le plomb dans les *Xanthoria parietina* contaminés varient de $76,31 \pm 19,02$ ppm à $237,60 \pm 7,02$ ppm et dépassent les valeurs des *Xanthoria parietina* témoins ($28,35 \pm 0,6$ ppm). L'ensemble des observations a permis de définir trois classes de pollution et a fait l'objet d'une cartographie des retombées plombiques d'origine routière. Au niveau des classes 1 et 2 (fortes pollutions), nous retrouvons les sites fermés localisés sur des terrains avec des pentes relativement fortes et avec un trafic routier très important (situation favorisant une forte émission de gaz d'échappement par les véhicules). C'est dans la classe 3 (faibles pollutions), et dans ses sous-classes, qu'on trouve les sites les moins pollués, mais toujours dépassant les valeurs des témoins. Ces sites, à trafic routier faible, sont également des sites assez ouverts favorisant la dispersion de retombées atmosphériques. Cette carte permet donc de répondre aux questions concernant le problème de pollution atmosphérique dans cette ville : sa localisation, ses niveaux, etc.

De son côté, Samadi [1993] a montré que le taux moyen du plomb contenu dans les thalles de *Ramalina farinacea*, transplantés et récoltés dans la région d'Annaba à 5 m de la chaussée, est de l'ordre de 60 ppm ($\mu\text{g/g}$) (transplantation pendant une durée d'un mois). Il constate que *Xanthoria parietina* accumule beaucoup plus le plomb que *Ramalina farinacea*.

Ces résultats montrent ainsi la toxicité de *Xanthoria parietina* pour le plomb, d'où l'intérêt d'utilisation de cette espèce dans le cas des transplantations lichéniques [Rahali, 2003].

* La ville de Tiaret est située dans les hauts plateaux de l'Ouest algérien, à 300 km d'Alger et à une altitude de 1 000 m. Le climat est de type continental semi-aride. Sa population a été estimée à 167 000 habitants, avec un taux d'accroissement de 3,66 %, sur une période s'étalant de 1977 à 1998. La ville de Tiaret compte plus de 200 km de réseau routier urbain. Son parc automobile est constitué de 6 284 véhicules, tous types confondus, dont 11 % du parc des voitures sont neuves (Agence Nationale pour l'Aménagement de Territoires, ANAT, 2005).

Application de la bio-indication lichénique dans la surveillance de dépérissement des forêts

Le dépérissement des forêts est un phénomène complexe qui a commencé à prendre de l'ampleur dans les années 70. Les hypothèses avancées ont évoqué le rôle de la pollution atmosphérique dans l'apparition de ce phénomène [Führer, 1990]. L'effet de la pollution atmosphérique est très tangible sur les lichens corticoles en entraînant la disparition des espèces sensibles ou une forte accumulation des polluants chez les espèces toxitolérantes. En Algérie, ce phénomène a touché le cèdre de l'Atlas depuis les années 80 [Bentouati et Bariteau, 2006 ; Sarmoum, 2008]. Le rôle de la pollution atmosphérique dans le déclenchement de ce fléau n'a pas été écarté. En effet, le dosage de quelques éléments polluants (SO₂, NO₃ et Pb) dans les thalles des lichens montre des teneurs parfois très élevées et met en évidence une pollution globale qui affecte les écosystèmes. Les investigations futures doivent être portées sur l'étude de la diversité lichénique en relation avec la distribution des éléments polluants dans les écosystèmes.

Perspectives

Les préoccupations liées à la santé et à l'environnement vont croissantes dans un pays comme l'Algérie. Le développement des programmes de biosurveillance demeure nécessaire pour compléter les outils de veille sanitaire. Ces outils de biosurveillance sont, en effet, devenus indispensables pour orienter la politique publique en matière de gestion des risques sur l'environnement. Or les études de biosurveillance sont encore trop ponctuelles et limitées pour répondre à l'ensemble des besoins.

Les lichens et les arbres urbains peuvent constituer des réseaux de plantes bio-indicatrices de la

pollution atmosphérique, dont l'utilisation se révèle être une méthode particulièrement simple, souple, économique et performante pour établir dans l'espace et dans le temps des cartographies de la pollution. L'identification de la pollution au sein d'organismes sensibles permet également de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope ou l'homme.

Le développement industriel et socio-économique de l'Algérie n'a pas toujours tenu compte de son impact sur la qualité de l'environnement et sur la conservation des milieux et des ressources naturelles. Mais à partir des années 1990, cette lacune a été comblée par la définition et la mise en œuvre d'une politique de protection de l'environnement, et en particulier de lutte contre la pollution atmosphérique, visant notamment à :

- la création d'un réseau de biosurveillance de la qualité de l'air dans les villes,
- la création d'un réseau de recherche multidisciplinaire dans un contexte de développement durable,
- la détermination de l'impact de certains micropolluants dont les concentrations dans l'atmosphère sont difficiles à quantifier directement,
- la sensibilisation du public à la pollution atmosphérique (à travers des cartes, de la publication d'indices de pollution, etc.),
- l'élaboration d'une stratégie de préservation vis-à-vis de la pollution atmosphérique dans les villes algériennes,
- l'échange d'expériences dans le domaine de la biosurveillance végétale de la pollution atmosphérique,
- l'élaboration d'un guide de sortie sur terrain au travers de mémoires de fin d'études et de la publication des résultats,
- la formation des chercheurs qualifiés (masters, magisters, doctorats).

Références

- Bentouati A., Bariteau M. Réflexion sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas dans les Aurès (Algérie). *Forêt méditerranéenne*, Vol. XXVII, 2006 : 317- 22.
- Ferretti M., Udisfi R., Barbolani E. 1993-mineral nutrients and trace metals in tree rings of Pinus sp. *J. Anal. Chem.* 347 : 467-70.
- Garrec J.-P., Van Haluwyn C. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Concepts, méthodes et applications. Éditions Tec & Doc, Lavoisier, Paris 2002 : 118 p.
- Maatoug M., Medkour K., Ait Hammou M., Hellal B. Cartographie de la pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière à l'aide de transplantaion d'un lichen bio-accumulateur *Xanthoria parietina* dans la ville de Tiaret (Algérie). *Pollution atmosphérique* 2010 ; 205 : 93-101.
- Maatoug M. Détection de la pollution de l'air d'origine routière par certaines espèces végétales bio-accumulatrices de quelques métaux lourds (Pb, Zn, Cu). *Pollution atmosphérique* 2007 ; 196 : 385-94.

- Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Évaluation des besoins en matière de renforcement des capacités nécessaires à l'évaluation et la réduction des risques menaçant les éléments de la diversité biologique en Algérie. *Plan d'action et stratégie nationale sur la biodiversité. Projet ALG/97/G31. Rapport de synthèse, TOME V, 2003* : 93 p.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. www.mate.gov.dz (consultation : 2010).
- Office National des Statistiques ONS (Algérie), 2005 : www.ons.dz (consultation : 2005).
- Rahali M. Étude de la pollution plombique dans la région d'Alger. Thèse de doctorat d'État. INA, Alger 2003 : 132 p.
- Sarmoum M. Impact du climat sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas dans la cédraie de Theniet El Had. Approche dendroécologique. Mémoire de Magister, USTHB 2008 : 97 p.
- Semadi A. Deruelle S. Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région d'Annaba (Algérie). *Pollution atmosphérique* Octobre-Décembre 1993 : 86-101.

