

ARTICLES

Caractérisation de la pollution par le NO₂ à l'aide d'un couplage de technique biologique et physico-chimique dans la région d'Annaba (Algérie)

Characterization of pollution by the NO₂ using twinning of a biological and physicochemical technique in the area of Annaba (Algeria)

Amel ALIOUA*, Naila MAIZI*, Lyllia MAIZI**, Ali TAHAR*

Résumé

Notre travail concerne la caractérisation de la pollution atmosphérique dans la région d'Annaba. L'étude a été abordée de différentes façons complémentaires. Nous avons utilisé, d'une part les résultats enregistrés par les capteurs physico-chimiques au niveau des stations du Réseau de surveillance et de contrôle de la qualité de l'air dans la région d'Annaba (appelé Sama Safia) et d'autre part les résultats obtenus par un bioindicateur, une espèce lichénique appelée *Xanthoria parietina*.

Une stratégie d'échantillonnage pertinente, un suivi spatio-temporel, la mesure de certains paramètres physiologiques (chlorophylle, proline, respiration) et le dosage de NO₂ nous ont permis de caractériser l'impact de la pollution issue, d'une part d'un trafic routier intense et d'autre part de la proximité de deux complexes, l'un sidérurgique et l'autre d'engrais phosphatés.

Le jumelage des résultats relatifs aux deux techniques utilisées, à savoir la mesure à l'aide des capteurs physico-chimiques et la bio-indication a montré des corrélations significatives non seulement entre le polluant analysé (NO₂) et les paramètres physiologiques mesurés (chlorophylle, proline, respiration) mais également entre le bio-indicateur et les capteurs physico-chimiques. Ces travaux ont permis une meilleure caractérisation de la pollution de l'air dans cette région.

Mots clés

Pollution atmosphérique. Bio-indication. Bio-accumulation. Capteurs physico-chimiques. Lichens. NO₂.

Abstract

Our work concerns the characterization of air pollution in the region of Annaba. The survey has been made by different complementary approaches. On one hand, results recorded by the monitors operated in the air quality and control network in the region of Annaba (called Sama Safia) and on the other hand, results provided by a bioindicator, a lichen species called *Xanthoria parietina*.

A relevant sampling strategy, a space and time follow-up of measurement of certain physiological parameters (chlorophyll, proline, breathing) and the proportioning of NO₂ have permitted to characterize the impact of pollution resulting, on the one hand, of an intense road traffic and, on the other hand, of the proximity of an iron and steel complex and a phosphate fertilizers complex.

Twinning results from the two monitoring techniques used, on one hand the physico-chemical sensors and on the other hand bio-indication, has showed a significant correlation, not only between the analyzed pollutant (NO₂) and the physiological parameters measured (chlorophyll, proline, respiration) but also between the bioindicator and the physical-chemical sensors. This work has allowed a better characterization of air pollution in this region.

Keywords

Air pollution. Bioindication. Bioaccumulation. Physico-chemical sensors. Lichens. NO₂.

* Laboratoire de biologie végétale et environnement, Département de biologie – Faculté des sciences, Université d'Annaba – BP 12 – 23000 Annaba (Algérie) – E-mail : maizi_naila@hotmail.com

** Laboratoire de biologie végétale et environnement, Département de chimie – Faculté des sciences, Université d'Annaba – BP 12 – 23000 Annaba (Algérie) – E-mail : amelalioua2000@yahoo.fr

1. Introduction

Le problème de la pollution concerne la santé des populations, néanmoins l'impact sur les écosystèmes doit également être pris en considération. Ainsi, la pollution due au dioxyde d'azote devient préoccupante en milieu urbain et elle n'a pas cessé d'évoluer au cours du temps, notamment dans les villes industrielles et les grandes agglomérations, du fait de l'augmentation considérable des rejets industriels et du nombre important de véhicules en circulation. En effet, l'augmentation de ce polluant dans l'atmosphère et sa large répartition, avec toutes les conséquences environnementales qui en découlent, lui donnent une importance croissante.

Le réseau de surveillance de la qualité de l'air (Sama Safia) mesure les concentrations des principaux polluants atmosphériques. Ces méthodes d'analyse physico-chimique très précises permettent de mesurer l'étendue et l'importance d'une contamination de l'environnement, c'est-à-dire qu'elles peuvent permettre de délimiter et de classer les zones névralgiques susceptibles d'être touchées. Cependant, ces méthodes sont très onéreuses et ne permettent pas de quantifier simultanément tous les contaminants présents dans un échantillon, ni d'évaluer les effets de la présence des polluants sur les organismes vivants ou sur l'état d'un écosystème.

L'utilisation de bio-indicateurs repose sur leur caractère intégrateur à l'égard des facteurs du milieu. En effet, les êtres vivants sont le reflet du milieu dans lequel ils évoluent et leurs observations aux divers niveaux de l'organisation biologique peuvent fournir des indications concernant la qualité et les caractéristiques de ce milieu. La perturbation du milieu naturel peut se déceler soit au niveau de l'écosystème dont la structure ou le fonctionnement sont perturbés par l'élimination ou la prolifération de certaines espèces, soit au niveau des organismes par des modifications entraînant une altération irréversible des fonctions fondamentales du métabolisme se manifestant au

niveau morphologique ou anatomique, ou entraînant une altération réversible ne se décelant que par des observations physiologiques, cytologiques ou cellulaires. Cependant, la variation des concentrations en polluant reste fonction de la nature des espèces, du temps d'exposition à la pollution, de la distance par rapport à la source de la pollution et enfin de la variation de certains facteurs climatiques : comme le vent, la pluviométrie et l'humidité relative.

L'association judicieuse de ces différentes approches permet d'évaluer l'état des milieux et des organismes qui y vivent. C'est pourquoi la présente étude est consacrée à la caractérisation de la pollution par le NO_2 dans la région d'Annaba à l'aide d'un bio-indicateur : *Xanthoria parietina*.

2. Matériel et méthodes

La ville d'Annaba est considérée comme étant l'une des villes les plus polluées sur le territoire national et dans le nord de l'Afrique. Les principales sources émettrices de polluants atmosphériques sont :

- le complexe sidérurgique ISPAT ;
- le complexe d'engrais ASMIDAL ;
- le trafic routier qui évolue à un rythme inquiétant.

Le problème de la pollution atmosphérique à Annaba est aggravé par sa position géographique (en cuvette), facteur qui favorise l'accumulation des polluants atmosphériques et expose par conséquent les habitants à un risque sanitaire.

2.1. Présentation de la zone d'étude

La ville d'Annaba est située à l'est de l'Algérie entre les latitudes 36 °30 Nord et 37 °30 Nord, et les longitudes 07 °20 Est et 08 °40 Est, avec 12 communes d'une superficie totale de 1 411,98 km². Elle est limitée par la mer Méditerranée au Nord, la wilaya de Skikda à l'Ouest, celle de Guelma au Sud et El Tarf à l'Est (Figure 1).

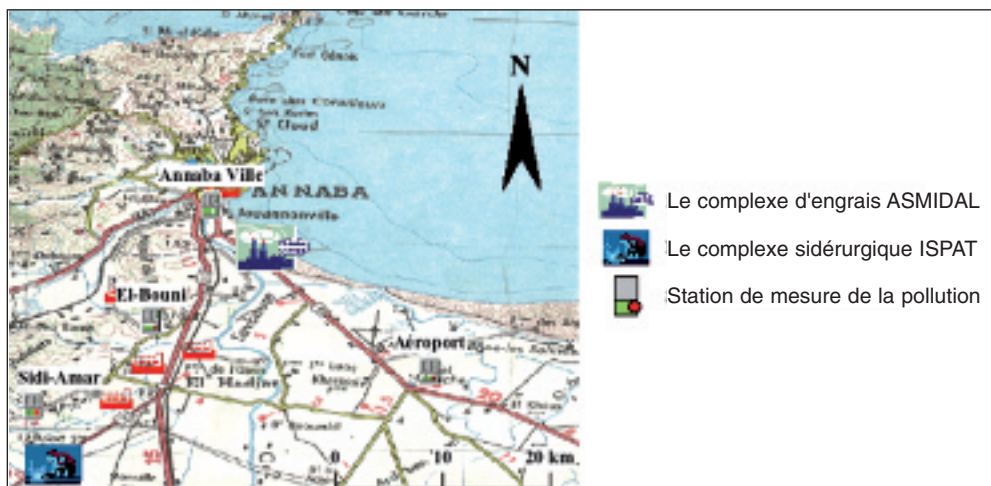


Figure 1.
Localisation géographique de la région d'étude (Annaba).
Geographical location of the region under study (Annaba).

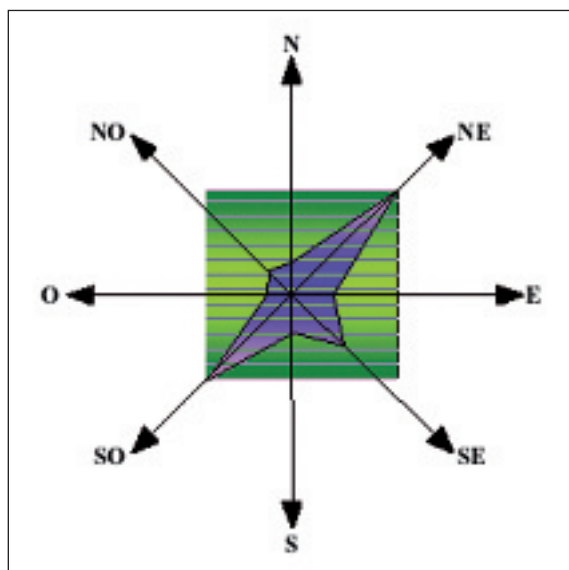


Figure 2.
La rose des vents d'Annaba
établie sur une moyenne de 10 ans (1995-2004).
Wind rose in Annaba
built upon 10 year history (1995-2004).

2.2. Les paramètres climatiques

Certains paramètres climatiques sont pris en considérations dans notre étude car ils ont un rôle particulièrement important dans la diffusion et la dilution des impuretés :

- la ville d'Annaba présente dans son ensemble des traits de type méditerranéen avec des étages bioclimatiques sub-humide et humide ;
- le climat se caractérise par des températures douces en hiver, chaudes en été et des précipitations abondantes ;
- la rose des vents permet de mettre en évidence une direction dominante du vent de Nord-est Sud-ouest.

2.3. Le réseau de surveillance de l'air de la ville d'Annaba

Le réseau de surveillance de la qualité de l'air baptisé Sama Safia a été installé à Annaba en 2002. Il fait appel aux derniers perfectionnements technologiques et se compose de quatre stations de mesures de la pollution atmosphérique :

- station de type « référence » (l'Aéroport) (Station 4) ;
- station de type « forte pollution » (El Bouni) (Station 2) ;
- station de type « forte pollution » (Sidi Amar) (Station 3) ;
- station de type « base » (Centre de santé) (Station 1).

2.4. Approche de bio-indication

Notre choix a porté sur une espèce foliacée, nitrophile à couleur luxuriante, se développant sur différents phorophytes, notamment sur *Ceratonia siliqua* : il s'agit de *Xanthoria parietina*.

2.5. Choix des sites d'échantillonnage et de transplantation

Nous avons jugé intéressant de transplanter les lichens au niveau des quatre sites où sont implantées les stations de mesure du réseau de contrôle Sama Safia.

2.6. Transplantation et prélèvement des échantillons

Nous avons prélevé des branches recouvertes de thalles de *Xanthoria parietina* dans leur milieu original, El Kala, située à l'est d'Annaba (parc national). Ce site de prélèvement est situé en dehors des zones polluées. Nous avons transféré ces échantillons aux niveaux des différents sites de transplantation choisis [Semadi et Deruelle, 1993]. La transplantation a eu lieu le 15 janvier 2005 au niveau des quatre sites. Un prélèvement est effectué au début de chaque mois. On a détaché une partie des thalles des lichens sur le phorophyte. L'étude a duré six mois et le traitement des échantillons a été effectué le jour même du prélèvement ou le lendemain avec trois répétitions pour chaque site et chaque mesure.

Les méthodes d'analyse sont les suivantes :

- le dosage de l'azote utilise le sulfanilamide comme réactif principal et l'appareil utilisé est le spectrophotomètre à la longueur d'onde 540 nm [Rodier, 1989 et Gombert, 1999] ;
- pour le dosage de la chlorophylle, nous avons utilisé la méthode proposée par Rao et Le Blanc (1965). L'appareil utilisé est le spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes 645 nm et 663 nm ;
- la méthode utilisée pour le dosage de la proline est celle de Troll et Lindsley (1955) simplifiée, mise au point par Dreier et Goring (1974). L'appareil utilisé est le spectrophotomètre à la longueur d'onde 528 nm ;
- la mesure de l'activité respiratoire est effectuée par la polarographie à l'aide d'une électrode de Clark à oxygène (Hansatech).

2.7. Analyse statistique des données

Nous avons utilisé le test d'analyse de la variance à deux critères de classification pour faire une comparaison pour chaque caractéristique entre les quatre sites d'une part et entre les six mois d'expérimentation d'autre part [Dagnelie, 1999]. On a également utilisé des matrices de corrélations pour mettre en évidence des relations linéaires entre les caractéristiques mesurées sur le bio-indicateur.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats enregistrés par les capteurs physico-chimiques de Sama Safia

D'après la Figure 3, on constate que les mois de juillet et août se caractérisent par des taux élevés de NO_2 au niveau des trois stations. Pour la station 1, cela semble être imputable à un trafic routier intense au niveau du centre-ville. Pour la station 2 ces teneurs sont certainement dues à la position de la station qui se situe sous les vents dominants par rapport aux rejets du complexe d'engrais ASMIDAL, mais restent toujours inférieures aux teneurs enregistrées au niveau de la station 1.

L'analyse de la variance à deux critères de classification relative aux différentes concentrations moyennes de NO_2 enregistrées par les capteurs physico-chimiques des stations de Sama Safia montre que ces différences de concentrations ne sont pas significatives, que ce soit dans le temps ($p = 0,49$) ou dans l'espace ($p = 0,068$).

3.2. Résultats obtenus au niveau de chaque station

La Figure 4 montre qu'au niveau de la station 1 l'accumulation de l'azote chez *Xanthoria parietina* présente des fluctuations durant les six mois d'exposition ($P_N = 0,004^{**}$). Quant à la teneur en chlorophylle, plus le temps d'exposition est long, plus elle diminue ($P_{\text{Chl}} = 0,002^{**}$).

Contrairement à la proline qui augmente dès le premier prélèvement par rapport au témoin, cette augmentation persiste jusqu'au sixième prélèvement ($P_{\text{Prol}} = 0,001^{***}$).

Le taux de NO_2 augmente considérablement notamment les derniers mois (période estivale) ($P_{\text{NO}_2} = 0,077$).

D'après les résultats illustrés dans la Figure 5 nous constatons que les courbes qui représentent l'évolution du taux d'azote accumulé par le bio-indicateur ($P_N = 0,001^{***}$) et le taux du NO_2 atmosphérique ($P_{\text{NO}_2} = 0,199$) suivent la même tendance, alors que la chlorophylle diminue ($P_{\text{Chl}} = 0,002^{**}$) et que la proline augmente dans le temps au niveau de ce site ($P_{\text{Prol}} = 0,001^{***}$).

Les courbes de la Figure 6 suivent les mêmes tendances que celles de la figure précédente.

Les deux sites ont des niveaux de pollution très proches et sont considérés tous les deux comme sites de type « forte pollution ». ($P_{\text{NO}_2} = 0,003^{**}$), ($P_N = 0,000^{***}$), ($P_{\text{Chl}} = 0,002^{**}$), ($P_{\text{Prol}} = 0,001^{***}$).

La Figure 7 montre qu'au niveau de ce dernier site les taux de NO_2 sont beaucoup moins importants qu'au niveau des autres sites ($P_{\text{NO}_2} = 0,564$).

La teneur en chlorophylle a tendance à diminuer. Quant à celle de la proline, elle présente des fluctuations tout au long de la période d'exposition.

D'après les résultats illustrés dans la Figure 8, nous observons que la moyenne du taux de la proline est trop élevée ($P_{\text{Prol}} = 0,000^{***}$) au niveau des trois premières stations par rapport à la station 4 à l'inverse de celle de la chlorophylle qui fait apparaître des résultats opposés ($P_{\text{Chl}} = 0,002^{**}$), alors que le taux de l'azote accumulé par le bio-indicateur et celui du NO_2 atmosphérique suivent la même tendance ($P_{\text{NO}_2} = 0,037^*$), ($P_N = 0,006^{**}$).

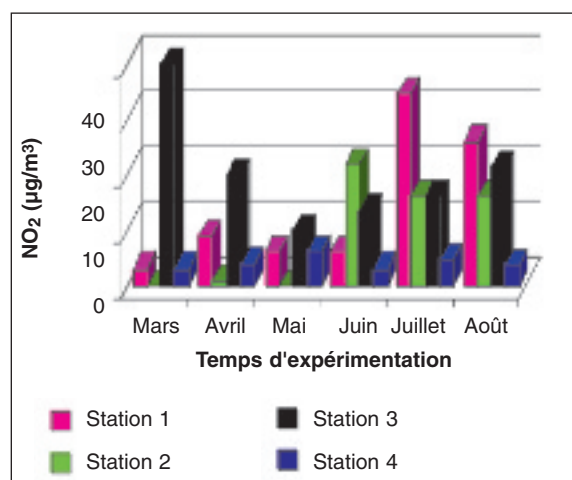


Figure 3.

Variations spatio-temporelles de la teneur en NO_2 enregistrées par les quatre capteurs des stations de Sama Safia.

Space and time variations of the CO concentrations monitored in the four devices of Sama Safia.

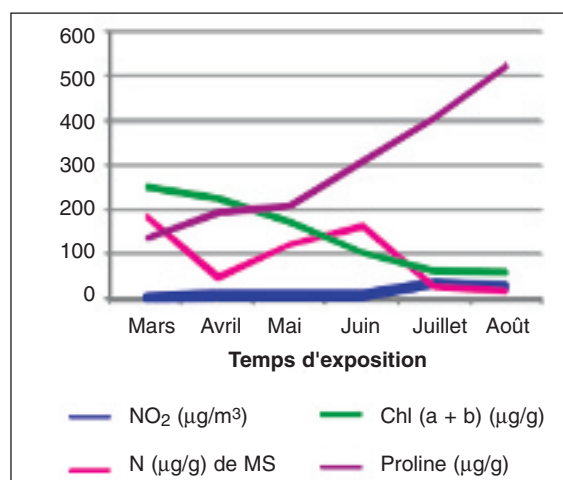


Figure 4.

Variation temporelle des différents dosages effectués au niveau de la station 1 (centre-ville d'Annaba).

Time variation of some analysis made in station 1 (Annaba downtown).

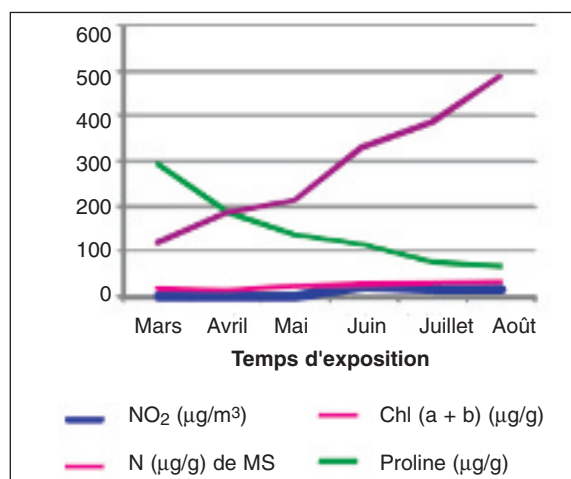


Figure 5.

Variation temporelle des différents dosages effectués au niveau de la station 2 (El-Bouni).

Time variation of some analysis made in station 2 (El Bouni).

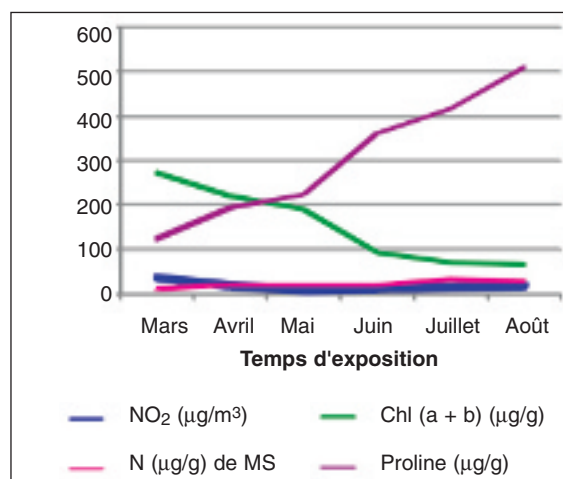


Figure 6.

Variation temporelle des différents dosages effectués au niveau de la station 3 (Sidi-Amar).

Time variation of some analysis made in station 3 (Sidi-Amar).

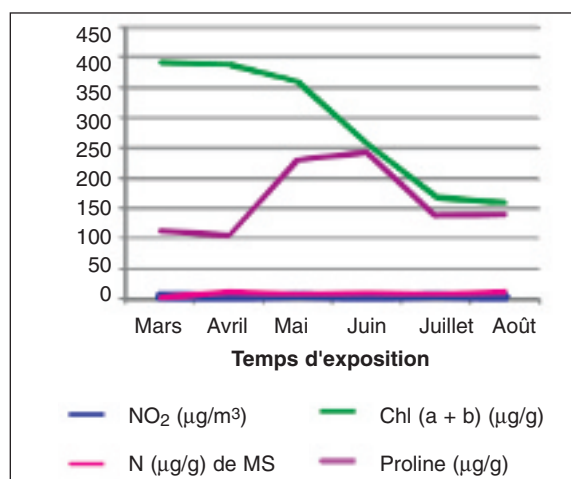


Figure 7.

Variation temporelle des différents dosages effectués au niveau de la station 4 (l'Aéroport).

Time variation of some analysis made in station 4 (Airport).

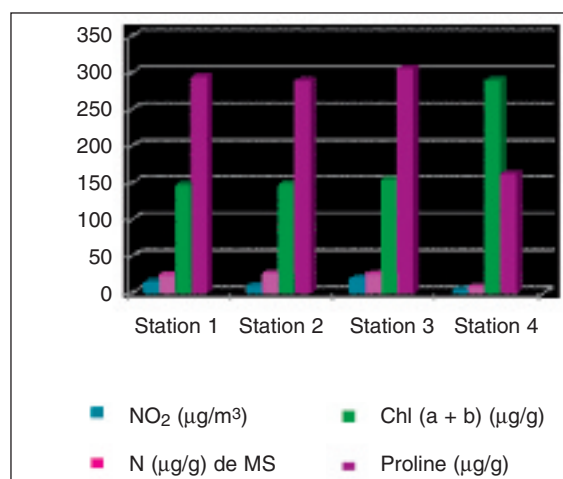


Figure 8.

Variation moyenne (six mois) des différents dosages effectués au niveau des quatre stations.

Average variation (six months) of some analysis in the four stations.

D'après la Figure 9, on constate que la respiration se fait normalement au premier mois d'où une diminution de la quantité d'O₂ dans le milieu au niveau des quatre stations.

En ce qui concerne la respiration des transplants au niveau des trois premiers sites durant les derniers mois, on remarque qu'elle est presque inhibée c'est-à-dire qu'il y a une légère consommation d'O₂ contrairement au dernier site (site 4) qui présente une respiration normale avec une diminution de la quantité d'oxygène.

La comparaison de la variation moyenne de la quantité d'oxygène consommée par *Xanthoria parietina* montre que cette variation est hautement significative dans l'espace ($p = 0,001^{***}$) et qu'elle est hautement significative dans le temps ($p = 0,004^{**}$).

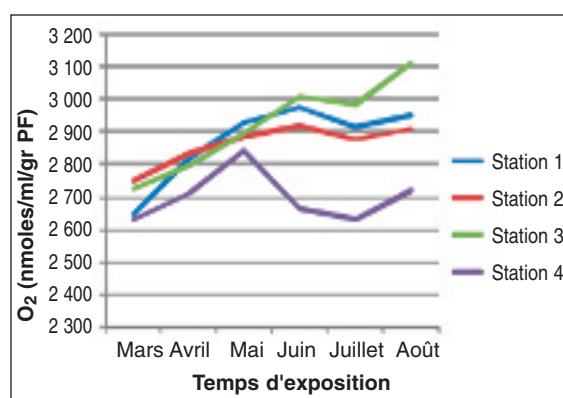


Figure 9.

Variation spatio-temporelle de la respiration chez *Xanthoria parietina*.
Space and time variation of the *Xanthoria parietina* breathing.

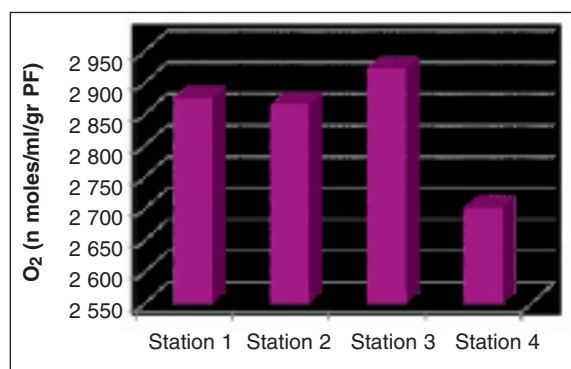


Figure 10.

Variation moyenne (six mois) de la respiration au niveau des quatre stations chez *Xanthoria parietina*.
Average variation (six months) of the *Xanthoria parietina* breathing in the four stations.

La Figure 10 fait apparaître une légère consommation d'O₂ par les transplants au niveau des trois premières stations (station de forte pollution) et une diminution de la quantité d'O₂ dans le milieu au niveau de la station 4 (station de référence) traduisant ainsi une respiration normale chez le bio-indicateur.

L'analyse de la variance relative à la variation de la teneur moyenne en O₂ dans le milieu en fonction des stations montre qu'elle est très hautement significative ($p = 0,000$ ***).

3.3. Matrices de corrélation entre les caractéristiques pour *Xanthoria parietina*

D'après le Tableau 1, on remarque que la teneur en chlorophylle ($a + b$) présente une corrélation significative aussi bien avec la teneur en proline qu'avec la consommation en O₂.

Le taux d'azote accumulé présente des corrélations significatives avec les teneurs en chlorophylle ($a + b$), en proline et la consommation en oxygène dans le milieu.

Au niveau du site 2, la corrélation de la teneur en proline avec celle en chlorophylle ($a + b$) est significative. L'activité respiratoire présente aussi une corrélation significative avec la teneur en chlorophylle ($a + b$). Par contre, pour l'azote, les corrélations varient de hautement significatives à significatives avec tous les paramètres.

Tableau 1.

Matrice de corrélations entre les caractéristiques mesurées chez le bio-indicateur *Xanthoria parietina* pour le site 1 (Annaba) et le site 2 (El-Bouni).

Correlation matrix between some parameters measured in *Xanthoria parietina* in site 1 (Annaba) and in site 2 (El-Bouni).

Site 1					Site 2				
Variables	Chl ($a + b$)	Proline	Resp	N	Variables	Chl ($a + b$)	Proline	Resp	N
Chl ($a + b$)	1				Chl ($a + b$)	1			
Proline	-0,936* (0,019)	1			Proline	-0,893* (0,041)	1		
Resp	-0,879* (0,050)	0,644 (0,241)	1		Resp	-0,922* (0,026)	0,757 (0,139)	1	
N	-0,881* (0,048)	0,912* (0,031)	0,908* (0,033)	1	N	-0,970** (0,006)	0,987** (0,002)	0,920* (0,029)	1

N.B. : les valeurs entre parenthèses sont celles de probabilité p.

Tableau 2.

Matrice de corrélations entre les caractéristiques mesurées chez le bio-indicateur *Xanthoria parietina* pour le site 3 (Sidi-Amar) et le site 4 (Aéroport).

Correlation matrix between some parameters measured in *Xanthoria parietina* in site 3 (Sidi-Amar) and in site 4 (Airport).

Site 3					Site 4				
Variables	Chl ($a + b$)	Proline	Resp	N	Variables	Chl ($a + b$)	Proline	Resp	N
Chl ($a + b$)	1				Chl ($a + b$)	1			
Proline	-0,965** (0,008)	1			Proline	0,175 (0,778)	1		
Resp	-0,952* (0,013)	0,965** (0,008)	1		Resp	0,252 (0,682)	0,540 (0,347)	1	
N	-0,873 (0,053)	0,861 (0,061)	-0,791 (0,111)	1	N	-0,769 (0,128)	0,395 (0,511)	0,129 (0,837)	1

N.B. : les valeurs entre parenthèses sont celles de probabilité p.

Concernant le site 3, la corrélation de la teneur en proline avec celle en chlorophylle ($a + b$) est hautement significative.

Quant à la consommation en oxygène, sa corrélation avec la teneur en proline est hautement significative et seulement significative avec celle en chlorophylle ($a + b$).

Pour le site 4, on constate que les paramètres ne présentent aucune corrélation entre eux.

3.4. Matrices de corrélation entre les concentrations de NO_2 des deux capteurs (stations-bio-indicateur)

D'après le Tableau 3, on constate que la corrélation entre les teneurs en azote accumulées par *Xanthoria parietina* et les concentrations de NO_2 enregistrées par les capteurs physico-chimiques varient dans l'ordre suivant :

- significatives au niveau du site 4 ;
- hautement significatives au niveau des sites 2 et 3 ;
- très hautement significative au niveau du site 1.

4. Conclusion

L'accumulation de l'azote par le bio-indicateur est corrélée avec la concentration ambiante atmosphérique. Or, au niveau de la source principale d'émission des oxydes d'azote, à savoir le complexe ASMIDAL d'engrais azotés et phosphatés, des filtres antipollution ont favorisé des diminutions unitaires des émissions d'oxydes d'azote (de 1 180 t/an à 275 t/an), d'acide nitrique (de 2 291 t/an à 45,6 t/an), de nitrate (émissions initiales de 13 300 t/an ; le projet d'installation d'un granulateur pour abattre le rejet de nitrate à 250 t/an n'est pas encore réalisé) et par conséquent une diminution des concentrations des NO_x dans l'atmosphère.

La quantité d'azote présente dans l'atmosphère est utilisée par le bio-indicateur dans sa nutrition mais la préférence varie selon l'espèce, l'âge et les conditions de culture. Les éléments nutritifs contenus dans les dépôts humides, de brouillard et de rosée, sont très riches en éléments et sont interceptés par les lichens [Thoene *et al.*, 1991].

Il est important également de rappeler que les oxydes d'azote peuvent être à l'origine de la formation

d'acide nitrique HNO_3 et d'ions nitrates (NO_3^-) et nitrites (NO_2^-) en période humide.

Le NO_2 ne s'accumule pas pour autant dans l'atmosphère car, à mesure que sa concentration augmente, il se transforme en HNO_3 au contact de la vapeur d'eau de l'air en période sèche. Il existe une corrélation positive entre les flux de NO_2 et les taux de transpiration [Thoene *et al.*, 1991].

En analysant les résultats obtenus par les deux capteurs (stations et bio-accumulateur), on peut conclure que les taux de NO_2 au niveau du site 1 (Annaba) sont nettement corrélés avec le trafic routier (61,73 % des véhicules à Annaba ville, 16,26 % à Sidi-Amar et 12 % à El-Bouni avec 71,13 % des véhicules anciens c'est-à-dire âgés de 11 ans et plus tandis que les véhicules neufs ne représentent que 17,74 % du parc global). Au niveau des sites 2 (El-Bouni) et 3 (Sidi-Amar), les valeurs enregistrées sont dues à la proximité des deux complexes : sidérurgiques (ISPAT) pour le site 3 et d'engrais azotés (ASMIDAL) pour le site 2, bien que ce dernier rejette moins d'oxydes d'azote après l'installation d'un système de dépollution au niveau des unités les plus polluantes.

Il est à noter que les valeurs enregistrées par les stations restent toujours liées au bon fonctionnement des capteurs physico-chimiques et de certaines mesures météorologiques.

On constate que *Xanthoria parietina* a accumulé des taux importants d'azote. Ceci est dû à la nature de cette espèce lichénique qui est une espèce nitrophile accumulant l'azote proportionnellement aux quantités d'oxydes d'azote émises par la circulation routière et les deux complexes ISPAT et ASMIDAL. Dans la littérature, de nombreux auteurs mettent en évidence la corrélation entre les teneurs en azote chez les lichens et les composés azotés provenant de la pollution [Sochting, 1995 ; Hyvariner et Crittenden, 1998a ; Gombert, 1999]. Concernant le site 4 (aéroport), les faibles taux qui ont été obtenus s'expliquent par un faible trafic aérien. Il se confirme donc que ce site peut effectivement être considéré comme site de référence.

En ce qui concerne la variation des paramètres physiologiques mesurés (teneur en chlorophylle, en proline et activité respiratoire), elle peut témoigner de la qualité de l'air de chaque site. Généralement, la teneur en chlorophylle et la quantité d'oxygène consommée par le bio-indicateur utilisé ont tendance à diminuer dans les sites fortement pollués à cause

Tableau 3.

Matrice de corrélations entre les concentrations de N chez *Xanthoria parietina* et les capteurs physico-chimiques pour les sites 1 (Annaba), 2 (El-Bouni), 3 (Sidi-Amar) et 4 (Aéroport).

Correlation matrix between N concentrations in *Xanthoria parietina* and physical-chemical devices in sites 1 (Annaba), 2 (El-Bouni), 3 (Sidi-Amar) and 4 (Airport).

	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4
Variables	N <i>Xanthoria</i>	N <i>Xanthoria</i>	N <i>Xanthoria</i>	N <i>Xanthoria</i>
NO_2 Station	0,990*** (0,001)	0,980** (0,003)	- 0,965** (0,008)	- 0,919* (0,027)

de la perturbation du processus photosynthétique et respiratoire alors que la teneur en proline a tendance à augmenter avec le temps d'exposition à cause du stress subit [Garty *et al.*, 2001 ; Hellmann *et al.*, 2000].

Toutes ces perturbations se traduisent par des altérations morphologiques telles que la perte de la couleur et de la vitalité des végétaux, ce que nous avons remarqué au niveau de nos sites au fur et à mesure de nos prélèvements. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Hellman *et al.*, (2000), Zambrano et Nash III (2000), Fornasiero (2001) et Adamo *et al.*, (2003).

À la lumière de nos résultats, nous remarquons que ce polluant (NO₂) exerce des effets très négatifs sur les paramètres physiologiques de l'espèce végétale étudiée. Compte tenu des teneurs importantes en azote accumulées par le bio-indicateur utilisé et en s'appuyant sur les résultats des capteurs physico-chimiques nous pouvons extraire deux conclusions principales :

- l'espèce lichénique s'est avérée une très bonne bio-accumulatrice d'azote, sachant que *Xanthoria parietina* est une espèce nitrophile. Des corrélations variant de significatives à hautement significatives entre cet élément et les paramètres physiologiques mesurés ont été trouvées ;

- il existe une forte pollution atmosphérique dans la région d'Annaba, surtout au niveau des agglomérations d'Annaba, d'El-Bouni et de Sidi-Amar malgré l'installation d'un système de dépollution au niveau du complexe ASMIDAL, système qui a réduit la pollution par NO_x à El-Bouni par rapport aux années précédentes. Cette pollution doit continuer à être surveillée.

D'après notre étude, on peut classer nos sites du plus pollué au moins pollué en fonction des teneurs en azote accumulées par le bio-indicateur dans l'ordre suivant : site 1 (Annaba), suivi du site 2 (El-Bouni), suivi par le site 3 (Sidi-Amar) et enfin le site 4 (Aéroport).

Références

- Semadi A, Deruelle S. Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région de Annaba (Algérie). *Pollution atmosphérique* 1993 ; 86-102.
- Rodier J. Soil and plant analysis/serie of syllabi part 7: plant analysis procedures. Selon norme Afnor NF. 90-013-Dosage des nitrites, 1989.
- Gombert S. Utilisation de la bio-indication lichénique dans l'estimation de la qualité de l'air de l'agglomération grenobloise : étude à différents niveaux d'organisation biologique. Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier-Grenoble I, 1999 : 287 p.
- Rao DN, Le Blanc BF. Effects of sulfur dioxide on the lichen alga, with special reference to chlorophyll. *Bryologist* 1965 ; 69 : 69-75.
- Troll W, Lindsley G. A photometric method for determination of proline G. *Biol. Chem.* 1955 ; 215 : 655-60.
- Dreier W, Göring M. Dereim slushoher solz kongentrasyon en aies verschideu physiologcshe parametrvan-mais wrzeln wiss. Z. Drh. Berlin Nath. *Natur wiss R.* 1974 ; 23 : 641-4.
- Dagnelie P. Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : interférence statistique à une et à deux dimensions. Bruxelles – Université de Boeck et Lacier, 1999 : 659 p.
- Thoene B, Schröder P, Papen H, Egger A, Rennenberg H. Absorption of atmospheric NO₂ by spruce (*Picea abies*). NO₂ influx and its correlation with nitrate reduction. *New Phytol.* 1991 ; 117 : 575-85.
- Sochting U. Lichens as biomonitors of nitrogen deposition. *Cryptogamic Botany* 1995 ; 5 : 264-9.
- Hyvärinen M, Crittenden PD. Relationships between atmospheric nitrogen inputs and the vertical nitrogen and phosphorus concentration gradients in the lichen *Cladonia portentosa*. *New Phytol.* 1998a ; 140 : 519-30.
- Garty J, Tamir O, Hassid I, Eshel A *et al.* Photosynthesis, chlorophyll integrity and spectral reflectance in lichens exposed to air pollution. *J. Environ. Qual.* 2001 ; 30 : 888-93.
- Hellmann H, Funck D, Rentsch D, Frommer WB. Hypersensitivity of an Arabidopsis sugar signaling mutant toward exogenous proline application. *Plant Physiology* 2000 ; 122 : 357-67.
- Zambrano A, Nash III Th. Lichen responses to short term transplantation in Desierto de Los Leon, Mexico City. *Environ. Pollut.* 2000 ; 107 : 407-12.
- Fornasiero RB. Phytotoxic effects of fluoride. *Plant Science* 2001 ; 161 : 979-85.
- Adamo P, Giordano S, Vingiani S, Castaldo Cobianchi R, Violante P. Trace element accumulation by moss and lichen exposed in bags in the city of Naples (Italy). *Env. Poll.* 2003 ; 122 : 91-103.