

Une méthode biologique pour la détection de la pollution globale dans la région d'Annaba (Algérie)

A biological method for detection of global pollution in Annaba area (Algeria)

Ammar SEMADI et A. TAHAR (*)

RÉSUMÉ

Parmi les réactions des lichens utilisés comme bioindicateurs de la pollution de l'air, nous pouvons donner des exemples tels que les altérations morphologiques, l'accumulation des polluants par les lichens.

Nous avons pris en considération une méthode qualitative basée sur la distribution spatiale des lichens pour déterminer le degré de pollution. On distingue également des méthodes quantitatives qui nécessitent un calcul mathématique aboutissant à la détermination d'un indice de pollution. Dans notre étude, réalisée en Algérie (Annaba), où la pollution globale provient de plusieurs sources, nous avons utilisé la méthode de cartographie en réseau (basée sur la distribution géographique des lichens). Nous avons également étudié l'accumulation spatio-temporelle du plomb d'origine automobile par le suivi des transplants d'un lichen fruticuleux (*Ramalina farinacea*) installés à différentes distances par rapport à l'autoroute n° 44 (Annaba-El Kala). Ceci nous aidera à apprécier l'importance de la pollution globale dans cette région ainsi que le degré de bioindication du lichen.

ABSTRACT

Among the reactions of lichens used to trace air pollution, we can give some examples as : the morphological alterations, the accumulation of pollutants by lichens, etc.

We have distinguished a qualitative method in order to permit the degree of pollution. This method is based directly on the lichens population. There are also some quantitative methods which need a mathematical calculation for a pollution index.

In our studies realised in Algeria (Annaba) in which global pollution emanates from many sources, we have used the method of cartography in reseau. This method is based on the geographical distribution of lichens with the help of repartition maps. We have also studied the temporal and spatial lead accumulation by a fruticulous lichen (*Ramalina farinacea*) transplanted at different distances from the motorway « N 44 » Annaba-El Kala.

This has helped us to know the importance of pollution in this area and the degree of lichen bioindication.

Introduction

La sauvegarde de la qualité de l'air passe par la détection et la mesure de la pollution atmosphérique. Dans la région de Annaba, cette sauvegarde est devenue un problème crucial à cause du développement considérable des industries.

En attendant l'installation de capteurs physico-chimiques dans le cadre de structures relatives à la protection de la nature, mises en place par les pouvoirs publics, il nous a semblé nécessaire de déterminer au préalable l'impact de cette pollution,

c'est-à-dire de dresser un état précis et objectif de la qualité de l'air dans cette région.

Pour cela, nous avons retenu l'utilisation des lichens comme bioindicateurs.

1. Propriétés bioindicatrices des lichens

Les propriétés bioindicatrices des lichens dans le domaine de l'étude de la pollution ont été exploitées pour la première fois par NYLANDER (1866) qui écrivait que « les lichens donnent, à leur manière, la mesure de la salubrité de l'air et constituent une sorte d'hygiomètre très sensible ».

Soixante ans plus tard, SERNANDER (1926) est le premier lichénologue à distinguer plusieurs

(*) Institut des Sciences de la Nature, Université de Annaba, 23000 Annaba (Algérie).

états de la végétation lichénique autour d'une agglomération. En effet, il décrit à partir du centre de Stockholm trois zones :

- une zone sans lichens épiphytes appelée désert de lichens,
- une zone de transition ou zone de combat avec quelques espèces peu abondantes,
- la zone normale à l'extérieur de la ville avec une flore lichénique abondante.

A New York, BRODO (1966) constate une absence de lichens jusqu'à 60 km du centre industriel de Brooklyn, tandis qu'à Paris, le désert lichénique pratiquement limité par le boulevard périphérique s'étend à l'ouest et à l'est dans la vallée de la Seine (DERUELLE, 1983).

L'intuition de Nylander et les recherches de SERNANDER ont débouché, un siècle plus tard, sur une utilisation intensive des lichens comme bioindicateurs de la pollution atmosphérique globale selon plusieurs méthodologies.

Comme VAN HALUWYN et LEROND (1986), nous distinguerons les méthodes biologiques (se référant aux réactions des individus) et les méthodes floristiques (se référant aux modifications de la végétation).

1.1. Méthodes biologiques

Parmi les réactions des lichens utilisés pour cartographier la pollution de l'air, on peut citer :

- les altérations morphologiques (BEDE-NEAU, 1980),
- le dosage d'un polluant accumulé dans les thalles,
- la mesure de l'activité phosphatase,
- les lésions du photosymbiote appréciables par microfluorométrie (KAUPPI, 1983),
- l'augmentation de la perméabilité cellulaire (PEARSON, 1985),
- les altérations cytologiques (HOLOPAINEN, 1986).

1.2. Méthodes floristiques

Afin de visualiser la sensibilité d'un lichen à une pollution, on peut utiliser sa distribution géographique à l'aide de carte de répartition. On utilise habituellement la méthode de cartographie en réseau.

2. Les limites de la méthode biologique

2.1. Facteurs internes

La croissance des lichens est un problème de dilution des polluants accumulés. Ceci n'est pas très important lorsqu'il s'agit d'un test de présence-absence, test utilisé lors de l'estimation de la pollution globale. Par contre, c'est un inconvénient plus

grave lorsqu'il s'agit du dosage de substances accumulées dans les thalles. Pour y remédier, il faut alors prélever et comparer des échantillons de même âge et se référer constamment aux témoins des sites non pollués.

3.2. Facteurs externes

Une limite plus sérieuse de la méthode biologique semble être l'intervention des facteurs externes, c'est-à-dire les facteurs climatiques, microclimatiques et topographiques. En effet, ces facteurs modifient l'intensité des retombées des polluants et en conséquence, la contamination des lichens qui sont, comme nous l'avons déjà vu, sous la dépendance directe de l'atmosphère ; mais en réalité, les variations de la dispersion des polluants dues aux conditions de l'environnement local seront les mêmes qu'il s'agisse d'un capteur ou d'un lichen. L'un et l'autre seront donc affectés de la même façon. Il suffira alors de choisir avec précaution les sites d'observation et de tenir compte des particularités locales lors de l'interprétation des résultats pour supprimer cet inconvénient.

3. Matériel et méthodes

3.1. Justification du choix de la méthode utilisée

Parmi les méthodes existantes et décrites précédemment, nous avons retenu la cartographie en réseau. Ce choix se justifie par l'impossibilité d'utiliser les autres techniques.

En effet, la méthode de HAWKSWORTH et ROSE est inapplicable en milieu méditerranéen où les conditions climatiques peuvent modifier la toxicité des espèces. De plus, l'existence de plusieurs polluants interdit l'utilisation d'une échelle essentiellement établie pour le dioxyde de soufre.

Pour d'autres raisons, les méthodes de l'indice de pureté atmosphérique et phytosociologiques n'ont pas été employées. Ces méthodes nécessitent la détermination de toute la flore épiphyte, ce qui requiert des investigations et des déterminations très longues.

3.2. Milieu d'étude et technique de travail

La région étudiée est un rectangle de 80 km de long sur 45 km de large, située au N.E. de l'Algérie (fig. 1), il s'agit de la région d'Annaba. Elle a été divisée en une grille de 162 mailles de 4 km sur 5 km, selon la méthode classique de cartographie en réseau (CARTAN, 1978).

Les coordonnées de chaque maille sont précisées par un nombre en abscisses et par une lettre en ordonnées. Les dimensions des mailles se justifient par le fait que les cartes obtenues peuvent ainsi se rattacher directement au découpage en

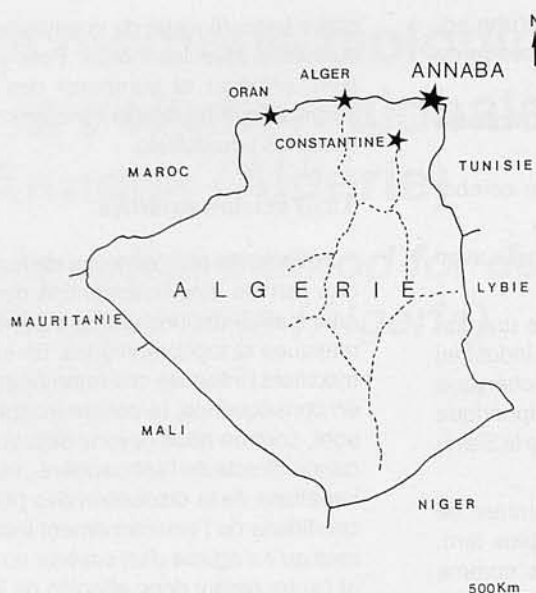


Figure 1.
Situation de la région d'Annaba par rapport à l'Algérie.
Location of the Annaba region in Algeria.

grades du système international de repérage déjà utilisé largement en Europe.

La région ici étudiée recouvre 01 Gr en longitude et 0,45 Gr en latitude (fig. 2) et peut être facilement intégrée dans une carte de plus grande échelle.

En plus du travail d'inventaire lichénique, nous avons prélevé au niveau de la région de Seraïdi (zone témoin, éloignée de toute source de pollution), un type de lichen fruticuleux très sensible à la

pollution, en l'occurrence *Ramalina farinacea* que nous avons transplanté à 4 km au S.E. d'Annaba, au niveau d'une haie de *Cupressus sempervirens* perpendiculaire à l'axe routier (RN 44 Annaba-El Kala) (fig. 3). Les transplants ont été fixés à différentes distances par rapport à l'autoroute (5, 7, 20, 30, 50, 80 et 100 m) pour apprécier l'importance de l'accumulation plombique par le lichen aussi bien dans le temps que dans l'espace.

3.3. Caractéristiques de la végétation lichénique dans la région d'Annaba

La situation particulière d'Annaba semble propice à l'utilisation des lichens. D'une part, les conditions climatiques de cette région ne constituent pas un obstacle au développement des lichens (hygrométrie relative élevée, pluviométrie suffisante, température favorable), d'autre part, les conditions substratiques sont réunies. En effet, l'utilisation des lichens épiphytes suppose l'existence de supports favorables à leur développement.

Dans la région d'Annaba, existent quatre espèces de phorophytes largement représentées, il s'agit de *Fraxinus angustifolia*, *Olea europea*, *Quercus suber* et *Eucalyptus camaldulensis* (fig. 4).

Fraxinus angustifolia est localisé notamment le long des axes routiers, au niveau des agglomérations et en situation isolée au niveau de la plaine et des collines.

Olea europea est réparti surtout au niveau de la plaine et des collines.

Quercus suber se trouve juste à la limite de la région d'étude en trois sites : à l'est d'Annaba où

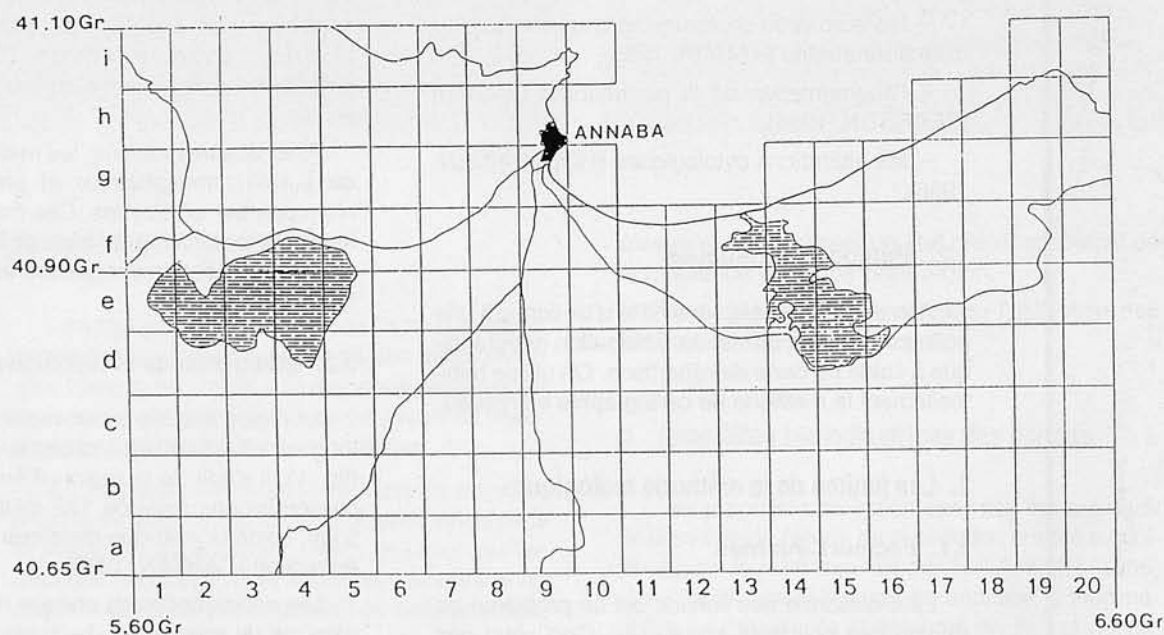


Figure 2.
Coordonnées du maillage de la région étudiée établies en grade.
Grid coordinates of the region studied in degrees.

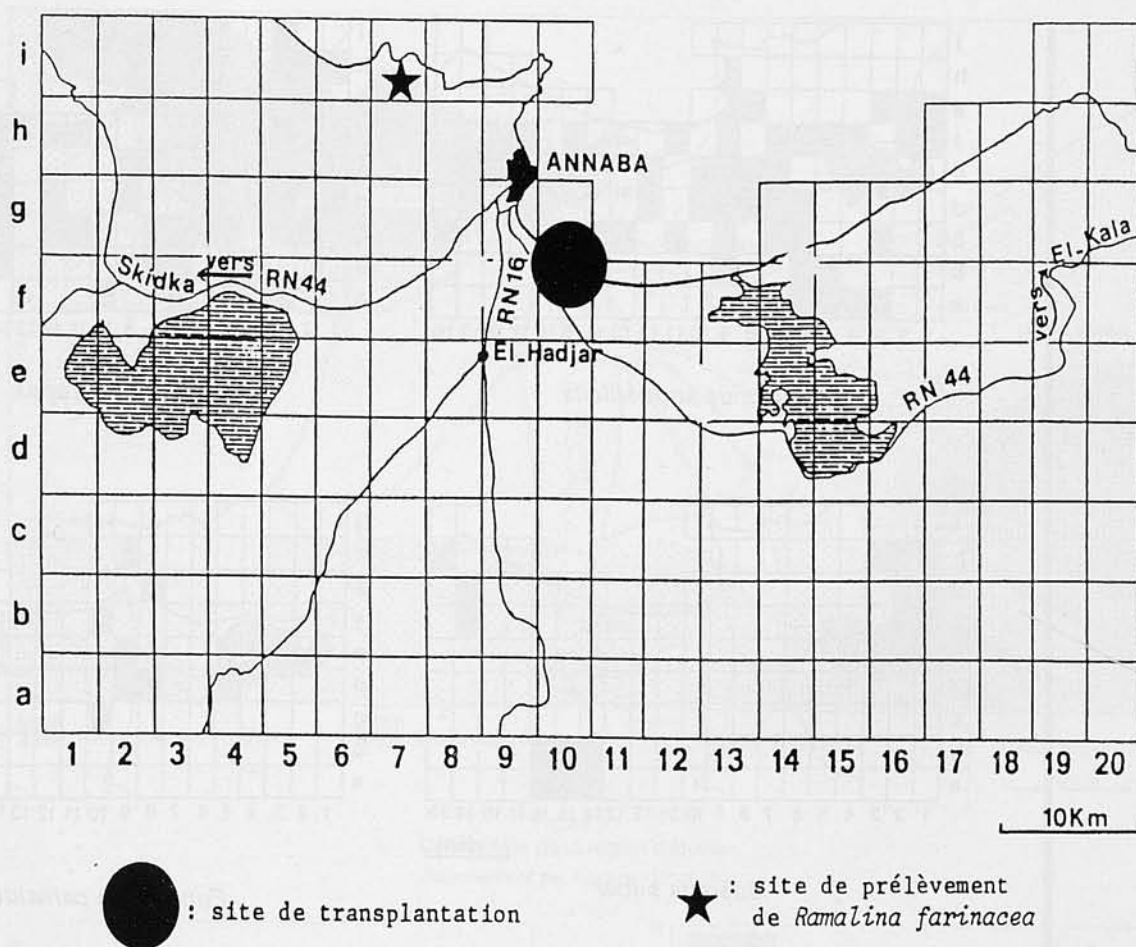


Figure 3.
Sites d'origine et de transplantation de *Ramalina farinacea*.
Original site and site of *Ramalina farinacea* transplantation.

nous avons herborisé entre 41 et 200 m d'altitude, au S.E. d'Annaba où l'altitude varie entre 51 m et 173 m et enfin à l'Ouest d'Annaba à 34 m. Nous précisons que l'échantillonnage des lichens a toujours eu lieu à la lisière du bois (altitude inférieure à 200 m) et non au sommet de la formation boisée.

Eucalyptus camaldulensis est considéré comme étant un mauvais phorophyte. On le rencontre aussi bien à l'état isolé au niveau de la plaine ou en formations boisées artificielles, notamment dans les régions d'El Kala et de Oued Zied.

4. Résultats et discussion

La prospection des lichens a eu lieu au niveau des zones de plaines et côtes qui représentent 65 % de la région quadrillée, le reste, soit 35 %, n'a pas été prospecté soit en l'absence de phorophytes, soit en raison de zones montagneuses d'accès difficile. Le nombre de *taxa* identifiés est de 88 (SEMADI, 1989).

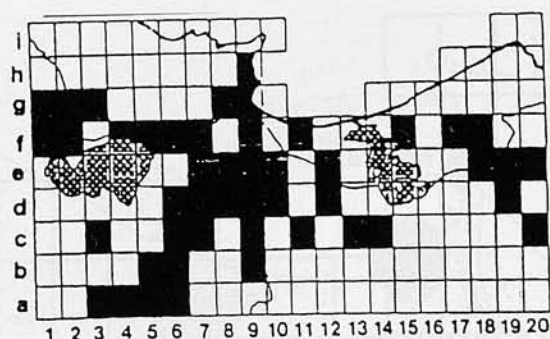
4.1. Influence des facteurs substratiques

Les sites où le nombre de *taxa* est supérieur à 20 représentent 7 % de l'ensemble des mailles prospectées. Ils correspondent aux forêts de chêne-liège de Oued El Aneb, à l'Oliveraie et à la forêt de chêne-liège de Asfour (S.E. d'Annaba) et au Cap de Garde (Nord d'Annaba). Ces quatre sites sont éloignés des sources de pollution (fig. 5).

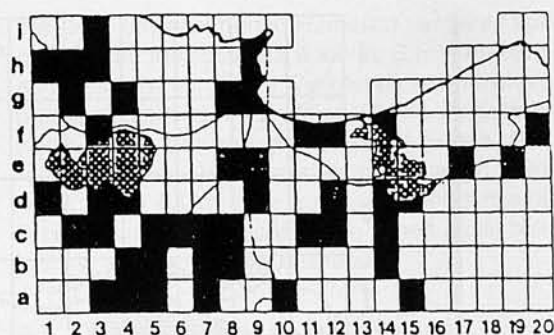
Le spectre physiologique (fig. 6) traduit la dominance des espèces crustacées (52 %) et foliacées (33 %) qui représentent ensemble 85 % de la flore corticole totale, sur les espèces à thalles gélatineux (8 %) et à thalles fruticuleux (7 %).

Le spectre biogéographique nous permet d'expliquer la faible représentation (17 %) des espèces strictement méditerranéennes (fig. 7) par la position de la région d'Annaba dans l'étage bioclimatique subhumide doux.

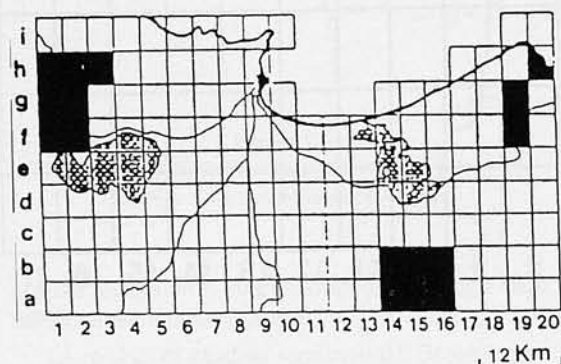
La distribution géographique des lichens épiphytes est influencée par trois facteurs principaux. Il s'agit de la nature du substrat, du climat et de la pollution atmosphérique.



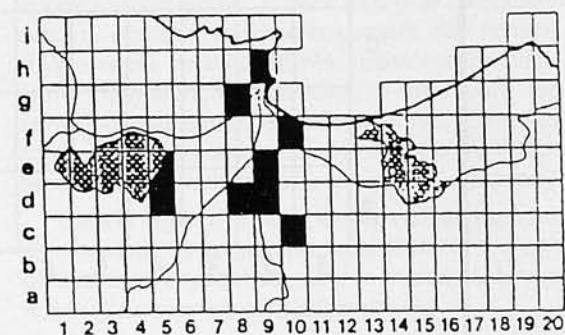
Fraxinus angustifolia



Olea europaea



Quercus suber



Eucalyptus camaldulensis

Figure 4.
Répartition spatiale des principaux phorophytes dans la région d'Annaba.
Distribution of the main plantings in the Annaba region.

Nous avons remarqué une variabilité dans la nature des espèces lichéniques et dans le degré de recouvrement suivant la nature du phorophyte et ceci au niveau d'une même maille et parfois au niveau d'une même station. Pour ce qui est d'*Eucalyptus camaldulensis*, il constitue un mauvais phorophyte dans la mesure où il présente une écorce d'une part lisse et d'autre part qui s'écaille périodiquement, ne permettant pas une fixation permanente des espèces épiphytiques ; néanmoins, nous avons remarqué des différences importantes en fonction de l'âge (plus le sujet est âgé et plus l'écorce a tendance à s'écailler, ce qui agit négativement sur le développement de la flore lichénique).

Fraxinus angustifolia et *Olea europaea* sont deux phorophytes à écorce rugueuse. Cette rugosité va entraîner des variabilités de l'hygrométrie entre le « plateau » de l'écorce et les « crevasse » et ceci en fonction de l'exposition. En effet, chez ces écorces, le côté sud se dessèche plus rapidement que le côté nord et les crevasse de l'écorce sèchent en dernier. Cette différence d'hu-

midité au niveau des différentes parties de l'écorce va influencer la distribution des espèces lichéniques. Au niveau de la zone industrielle, les quelques espèces (très limitées) rencontrées se trouvent sous forme de thalles minuscules abrités à l'intérieur des crevasse qui sont très prononcées, notamment chez le frêne. Notre observation concorde avec celle de DESTINAY (1969) qui a noté que l'écorce située sur le côté opposé à la pluie et dans les crevasse est plus tendre que sur la face exposée aux vents dominants.

Contrairement à l'*Eucalyptus*, l'olivier constitue un meilleur phorophyte à l'état adulte qu'à l'état jeune, ceci est bien sûr lié à la texture de l'écorce. Le relief de l'écorce joue également un très grand rôle, en effet, chez l'olivier, la partie bien exposée au soleil et inclinée comporte beaucoup plus de lichens que les autres parties de l'écorce.

Enfin, nous avons noté un développement important de tous les types biologiques sur *Quercus suber*. Sur les sujets ayant subi le démasclage, on observe une végétation au maximum de son déve-

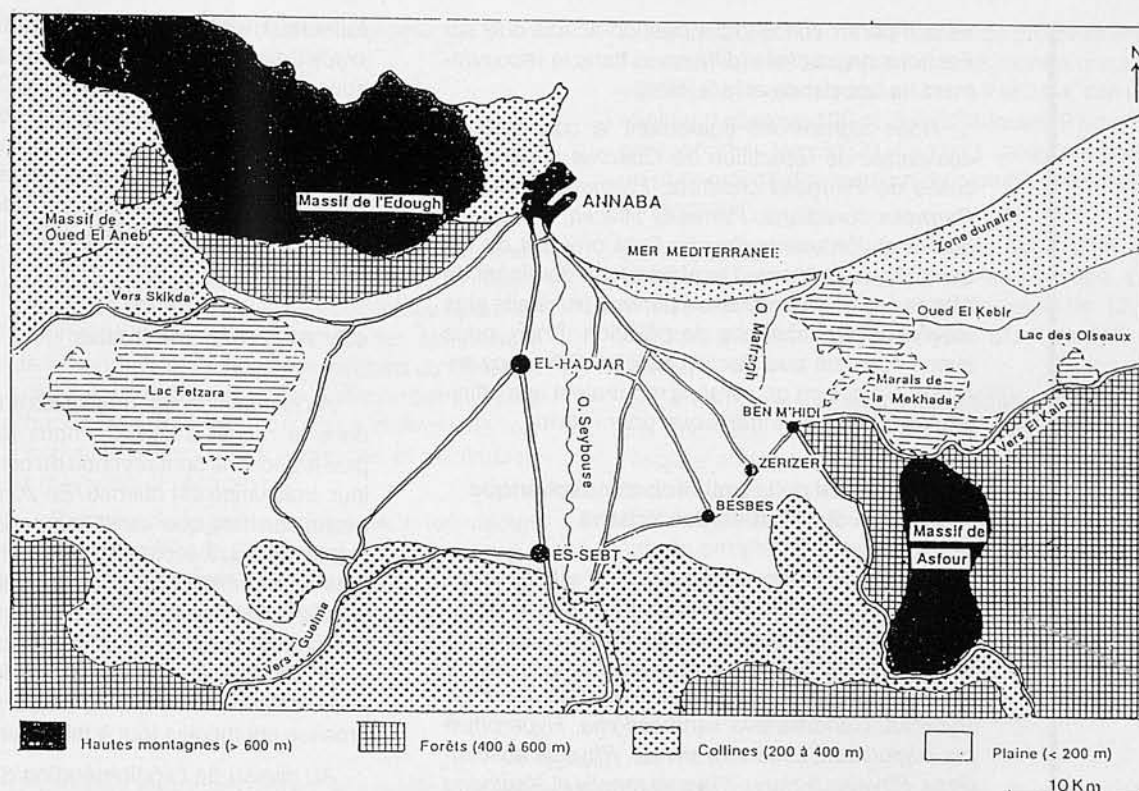


Figure 5.
Délimitation de la région d'étude.
Boundaries of the region under study.

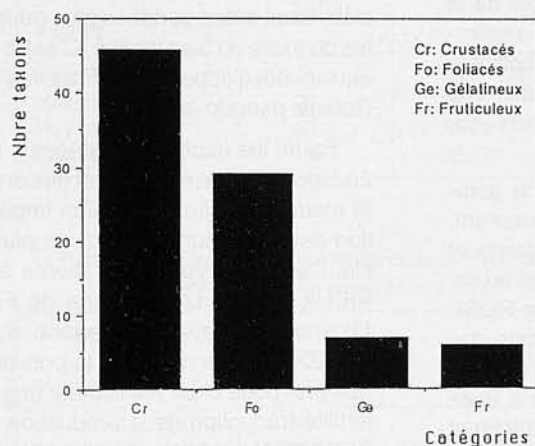


Figure 6.
Spectre physiognomique des espèces lichéniques
dans la région d'Annaba.
Physiognomical spectrum of the lichen species
in the Annaba region.

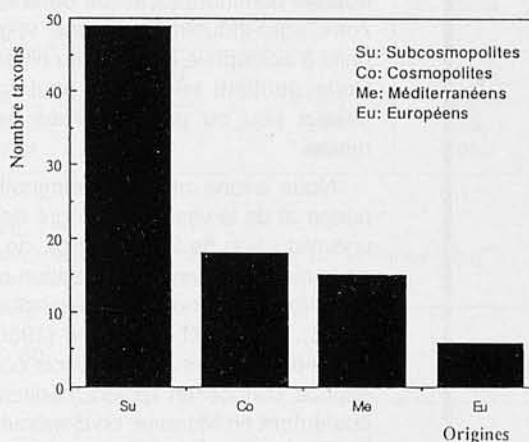


Figure 7.
Spectre biogéographique des lichens dans la région
d'Annaba.
Biogeographical spectrum of the lichens in the Annaba region.

loppement au niveau de la partie supérieure du tronc ainsi que sur les branches principales. La zone démasclée est colonisée par de nombreuses germinations.

De nombreuses hypothèses ont été formulées quant à la variation de la flore épiphytique selon la nature du phorophyte : certains auteurs prennent en considération le relief de l'écorce, l'habitat des arbres, d'autres attribuent la différence à la dureté et à la vitesse de desquamation de l'écorce.

DESTINAY (1969) attribue les différences floristiques au relief, à la dureté, à la capacité de rétention en eau et au pouvoir de condensation de la vapeur d'eau de l'écorce. ALMBORN (1948) prend en considération la quantité de lumière transmise par la cime de l'arbre, ainsi que par le relief de l'acidité de l'écorce. En plus des facteurs déjà étudiés, nous ajoutons la notion d'affinité « phorophyte-lichen ». Dans l'agglomération d'Annaba, par exemple, *Physcia bizian* semble mieux

se comporter sur *Robinia pseudo-acacia* que sur *Fraxinus angustifolia* (différence dans le recouvrement, la luxuriance et la fertilité).

Nous signalerons également la concordance des cartes de répartition de *Quercus suber* avec celles de *Parmelia caperata*, *Parmelia reticulata*, *Parmelia soledians*, *Parmelia tiliacea*, *Pertusaria amara* et *Pertusaria flavida*. Cela provient du fait que *Quercus suber* est le phorophyte dominant de l'étage collinéen caractérisé par une pluviosité plus élevée et par l'absence de pollution. Enfin, nous avons constaté que *Bacidia rubella*, *Caloplaca cerina* et *Caloplaca gr. pyracea* montraient une affinité plus forte pour le frêne que pour l'olivier.

4.2. Influence de la pollution atmosphérique sur la distribution des lichens

Ce que nous avons remarqué, c'est l'absence de désert lichénique à Annaba. Plusieurs espèces pénètrent à l'intérieur de l'agglomération d'Annaba et même jusqu'au centre de la ville, c'est le cas de *Bacidia rubella*, *Caloplaca cerina*, *Caloplaca gr. Pyracea*, *Candelariella xanthostigma*, *Hyperphyscia adglutinata*, *Lecanora sienae*, *Physcia adscendens*, *Physcia biziana*, *Physcia tenella* et *Xanthoria parietina*.

Nous distinguons nettement deux types de végétation épiphyte : une végétation à caractère nitrophile dominant localisée dans l'ensemble de la zone agro-industrielle et une végétation neutrophile à acidophile installée au niveau des collines. Cette dernière végétation peut caractériser des milieux peu ou pas perturbés par l'activité humaine.

Nous avons noté une diminution de la luxuriance et de la vitalité, du degré de recouvrement, une réduction de la fréquence, de l'abondance et de la diversité avec l'urbanisation et l'industrialisation. Nous rejoignons ici les conclusions de ROSE (1985), TAKAOKI et MITANI (1986). Il existe des données précises pour *Physcia biziana*, c'est une espèce connue en région méditerranéenne mais également en Moravie, en Bohême, en Autriche et en Tchécoslovaquie. Son comportement par rapport à la pollution a été étudié par LASOTACHRIST et TURK (1984) pour la ville de Vienne (Autriche). Ces auteurs situent cette espèce en zone 3 et 4, c'est-à-dire en zones moyennement et fortement polluées, sachant que la zone 5 est la zone la plus polluée à Vienne. Il semble y avoir une certaine analogie avec nos résultats puisque cette espèce a été observée dans Annaba sur des frênes dont le feuillage témoigne d'une pollution fluo-rée importante. Par contre, d'après CRESPO et BUENO (1982), cette espèce est considérée comme assez sensible en Espagne.

Le comportement de *Caloplaca cerina* et de *Bacidia rubella* à Annaba diffère des observations faites dans le N.W. de l'Europe. Ces deux espèces sont considérées comme poléophobes par divers

auteurs (HAWKSWORTH et ROSE, 1970). *Caloplaca cerina* figure en zone 9 et *Bacidia rubella* en zone 7 de l'échelle de HAWKSWORTH et ROSE, c'est-à-dire dans des zones peu polluées. A Annaba, on les trouve au contraire en zone contaminée. *Caloplaca cerina* a pu être observé en pleine zone industrielle de Annaba, *Bacidia rubella* colonise les frênes et les cyprès au sein même de l'agglomération d'Annaba.

4.3. Altération des thalles

Au niveau des différents sites d'échantillonnage dans la région d'Annaba, nous remarquons que plus les lichens sont proches du centre urbain, plus leur croissance est ralentie. En zone polluée, nous avons constaté que *Xanthoria parietina* est parfois stérile. Lorsqu'il est fertile, les apothécies sont limitées en nombre et leurs disques sont réduits. De plus, le thalle devient verdâtre et terne comme pour les formes d'ombre. En zone témoin, éloignée de toute source de pollution, le thalle de *Xanthoria parietina* est bien luxuriant, toujours fertile avec de grosses apothécies tout à fait indemnes.

Au niveau de l'agglomération d'Annaba, *Physcia biziana* présente de petites apothécies très serrées, au bord thallin très fin, ainsi que des plages colorées (jaunâtres ou brunâtres) ou décolorées (blanchâtres), sur le thalle. Ces altérations s'étendent à des surfaces plus ou moins importantes du thalle ou à sa totalité. C'est le cas des thalles qui se développent sur *Fraxinus angustifolia* et *Robinia pseudo-acacia*.

Parmi les espèces crustacées, nous signalons *Lecanora sienae* sur frêne et olivier qui se décolore et meurt. Il subit une érosion importante (disparition de l'hyménium) jusqu'à ne plus être identifiable. Ce même type d'altération a été observé par RIEUX (1977) dans la zone de Fos-sur-Mer sur *Lecanora sienae* et *Lecanora chlorotera*. SEWARD (1976) a noté que la pollution atmosphérique provoque chez les lichens une inhibition de la fertilité (réduction de la production d'apothécies) ; BEDENEAU (1980), de son côté, a observé en zone moyennement polluée, sur *Lecanora conizaeoides*, de grandes plaques blanchâtres dues à un champignon parasite. En ce qui concerne *Lecanora sienae*, nous pensons qu'en plus de l'effet de la pollution, il est rongé par des acariens et d'autres insectes.

Dans la région d'Annaba, pendant 6 mois par an, les lichens peuvent être mouillés et donc être très sensibles à la pollution atmosphérique. En effet, ils sont en pleine croissance durant l'hiver et le printemps quand les niveaux de pollution sont très hauts. Par contre, au niveau des sites éloignés des sources de pollution, la végétation épiphytique est luxuriante, c'est le cas de *Parmelia tiliacea*, *Parmelia caperata*, *Anaptychia ciliaris*, etc. prélevés sur *Quercus suber* dans la région de l'Edough

culminant à 600 m d'altitude et éloignée de 13 km au N.W. d'Annaba (fig. 5).

4.4. Accumulation spatio-temporelle du plomb par *Ramalina farinacea*

Le calcul des paramètres statistiques élémentaires tels que la moyenne arithmétique et l'écart-type nous donne les résultats du tableau I pour les différentes dates de prélèvement des échantillons de lichens transplantés et les résultats du tableau II pour les différents sites de transplantation. Dans chacun des deux tableaux, nous distinguons respectivement les valeurs minimales et maximales, la moyenne et l'écart-type.

Pour les 6 dates de prélèvement, les valeurs minimales varient de 9 à 21,4 $\mu\text{g.g}^{-1}$ M.S.* alors que les valeurs maximales vont de 21,4 à 244,8 $\mu\text{g.g}^{-1}$ M.S. avec une moyenne allant de 21,4 à 110 $\mu\text{g.g}^{-1}$ M.S. quant à l'écart-type qui nous renseigne sur la dispersion des données va de 0 à 96,7 $\mu\text{g.g}^{-1}$ M.S.

En ce qui concerne les 8 sites de prélèvement, l'examen des résultats (tab. II) nous montre que les valeurs minimales se situent entre 9 et 21,4, soit un minimum observé 100 m de la chaussée (9 $\mu\text{g.g}^{-1}$) par rapport au témoin (21,4 $\mu\text{g.g}^{-1}$), ce qui suppose un phénomène d'exorption du plomb par le thalle lichénique.

Les valeurs maximales varient entre 21,4 et 244,8 $\mu\text{g.g}^{-1}$ à 100 m et 5 m de la chaussée. La moyenne arithmétique, quant à elle, varie de 12 à 133,1 $\mu\text{g.g}^{-1}$ avec des écarts-types allant de 4,20 à 86 $\mu\text{g.g}^{-1}$.

La comparaison de l'accumulation du plomb par *Ramalina farinacea* dans le temps et dans l'espace a été faite par l'analyse de la variance à deux critères de classification (dates et sites) qui sont tous deux aléatoires (DAGNELIE, 1980). Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel « Minitab » d'analyse et de traitement statistique des données (X, 1989).

Les résultats de l'analyse de la variance sont donnés par le tableau III où les résultats montrent

Tableau I.
Paramètres statistiques élémentaires relatifs à l'accumulation temporelle du plomb d'origine automobile par le transplant de *Ramalina farinacea* ($\mu\text{g.g}^{-1}$)

Basic statistical parameters concerning the accumulation of automobile lead over time by the transplant of *Ramalina farinacea* ($\mu\text{g.g}^{-1}$)

Dates	14/03	15/04	15/05	15/06	15/08	15/09
Valeurs						
Minimales	21,4	10	9	10,2	11,6	10,8
Maximales	21,4	66,7	106	144,5	215,3	244,8
Moyennes	21,4	35,38	51,2	65,4	96,4	110
Ecart-type	0	22,77	37,1	54	83,7	96,7

Tableau II.
Paramètres statistiques élémentaires relatifs à l'accumulation spatiale du plomb par *Ramalina farinacea* ($\mu\text{g.g}^{-1}$)

Basic statistical parameters concerning the spatial accumulation of lead by *Ramalina farinacea* ($\mu\text{g.g}^{-1}$)

Dist/Route (m)	5	7	20	30	50	80	100	T
Valeurs								
Minimales	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4	10,3	9	21,4
Maximales	244,8	241	160,2	116,5	58,4	21,4	21,4	35,4
Moyennes	133,1	128,4	89,3	63,7	37,23	13,15	12,17	29
Ecart-type	86	84,5	52,8	37,7	14,63	4,20	4,61	6,2

Tableau III.
Analyse de la variance à deux critères de classification relative à l'accumulation spatio-temporelle du plomb par *Ramalina farinacea*.

Two factor analysis of the variance with concerning the space-time accumulation of lead by *Ramalina farinacea*.

Sources de variation	ddl**	SCE***	CM****	F obs
Différence entre dates	5	56 795	11 359	8,107
Différence entre sites	7	97 084	13 869	9,899
Interaction	35	49 021	1 401	
TOTAL	47	202 900	—	

* MS : matières sèches - ** ddl : degré de liberté - *** SCE : Somme des carrés des écarts - **** CH : carrés moyens.

qu'il existe des différences très hautement significatives aussi bien entre les accumulations temporelles (F obs. = 8,1) qu'entre les accumulations spatiales (F obs. = 9,9).

4.5. Etablissement d'une échelle de pollution atmosphérique

A la lumière de nos résultats dans la région d'Annaba, nous allons ébaucher une échelle de poléophobie pour les principales espèces observées. Trois catégories de lichens peuvent être distinguées :

a) Espèces « résistantes » (pénétrant jusqu'en milieu urbain)

- *Bacidia rubella*,
- *Caloplaca cerina*,
- *Caloplaca* gr. *pyracea-halocarpa*,
- *Candelariella xanthostigma*,
- *Hyperphyscia adglutinata*,
- *Lecanora sienae*,
- *Physcia adscendens*,
- *Physcia biziana*,
- *Physcia tenella*,
- *Xanthoris parietina*.

b) Espèces « moyennement résistantes » (milieu rural et périurbain)

- Groupe de *Phaeophyscia orbicularis*,
- *Physconia grisea*,
- *Diploicia canescens*,
- *Bacidia rubella*.

c) Espèces particulièrement poléophobes

- *Parmelia caperata*,
- *Parmelia soledians*,
- *Parmelia perlata*,
- *Parmelia tiliacea*,
- *Physcia clementei*,
- *Ramalina canariensis*,
- *Ramalina duriae*.

Bibliographie

- O. ALMBORN. Distribution and ecology of some south scandinavian lichens. *Bot. Not. Lund*, 252 p., 1948.
- M. BEDENEAU. Evolution des caractères morphologiques, anatomiques et biochimiques de quelques lichens subsistant en milieu forestier pollué. *Thèse Université Orléans*, 120 p., 1980.
- I.M. BRODO. Lichen growth and cities : a study on long Island, New York, *Bryologist*, 69 : 427-449, 1966.
- M. CARTAN. Inventaires et cartographies de répartitions d'espèces. *Faune et Flore*, Ed. du CNRS, Paris, 127 p., 1978.

A. CRESPO et A.G. BUENO. Flora y vegetacion liquénicas de la casa de Campo de Madrid (Espana). *Lazaroa*, 4 : 327-356, 1982.

P. DAGNELIE. Théorie et méthodes statistiques : applications agronomiques (vol. 2). Gembloux, *Presses agronomiques*, 463 p., 1980.

S. DERUELLE. Ecologie des lichens du Bassin Parisien. Impact de la pollution atmosphérique (engrais, SO₂, Pb) et relations avec les facteurs climatiques. Thèse de Doctorat d'Etat, Université P. et M. Curie, Paris, 300 p. + Annexe 202 p., 1983.

P. DESTINAY. La flore épiphytique des arbres fruitiers de la région liégeoise et ses relations avec la pollution de l'air. Mémoire de licence en Sciences Botaniques, Université de Liège, 115 p., 1983.

D.L. HAWKSWORTH et F. ROSE. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227 : 145-148, 1970.

M. KAUPPI. Rôle of lichen as air pollution monitors. *Mem. Soc. Fauna. Fenn.*, 59 : 83-86, 1983.

R. LASOTA-CHRIST et R. TURK. Der epiphytische Flechtenbeuricks als indikator für die luftverunreinigung im Stadt-gebiet Von Wien. *Forum Städte-Hygiene* 35 (mai/juin), 122-131, 1984.

R. RIEUX. Végétation lichénique et pollution atmosphérique dans la zone de Fos-sur-Mer. Premières observations. *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille*, 37 : 93-107, 1977.

F. ROSE. Lichens and air pollution. In *Wildlife in towns and cities, gardens, parks and waterways (a country life guide)*, M. Chinery and W.G. Teagle eds., 59-64, 1985.

M.R.D. SEAWARD. Performance of *Lecanora muralis* in anurban environment. In *Lichenology : Progress and problems*. Academic Press, Londres et New York, 323-357, 1976.

A. SEMADI. Effets de la pollution atmosphérique (pollution globale, fluorée et plombique) sur la végétation dans la région d'Annaba (Algérie). *Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles*, Université P. et M. Curie, Paris 6, 339 p., 1989.

T. TAKAOKI et K. MITANI. A new fumigation method for measuring the effects of sulphur dioxide on photosynthesis of bryophytes and lichens, *Lindbergia*, 12 : 60-66, 1986.

C. VAN HALUWIN, M. LEROND. Les lichens et la qualité de l'air. Evaluation méthodologique et limites. *Rapport final* au ministère de l'Environnement (SRETIE), 213 p., 1986.

X. Minitab reference manual. Valley Forge, Data Tech Industries, 349 p., 1989.

Mots-clés

Méthode biologique ; pollution globale : Annaba.

Key-words

Biological method, global pollution, Annaba.