

Bull. Inform. Ass. Fr. Lichén., Paris ISSN 0150-0171

MEMOIRES, n°2, 1993



Association  
française  
de lichénologie

LES LICHENS  
BIOINDICATEURS DE LA QUALITE DE L'AIR

\*\*\*\*\*

Marie-Agnès LETROUIT-GALINOU

Responsable de l'édition

ACTES DU SEMINAIRE

organisé à Paris, le 21 novembre 1992

par le British Council et le Laboratoire de Cryptogamie de l'Université Paris VI

avec la participation du Professeur Mark R.D. SEAWARD, Bradford, Royaume Uni



D.R.A.S.S.  
D'ILE DE FRANCE



Office National  
des Forêts  
Normandie



U.F.R Sciences de la vie

Ademe



**L'Association Française de Lichénologie  
adresse ses plus vifs remerciements à**

**ADEME**

**(Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)**

**DRASS - ILE DE FRANCE**

**(Direction Régionale de l'Action Sanitaire et Sociale)**

**ONF DE NORMANDIE**

**(Office National des Forêts)**

**U.P.M.C. - PARIS**

**(Université Pierre et Marie Curie)**

**pour le soutien matériel et financier apporté à cette publication**

"LICHEN,

*le mot lui-même comme la plante, est encore empreint d'une certaine magie, il intrigue et éveille la curiosité. Cette alchimie si complexe de la vie qui s'épanouit dans une plante aussi modeste, voire "lépreuse" continue de susciter l'émerveillement.*

*Le terme actuel lichen est d'origine grecque, d'où sa prononciation : liken. Il servait autrefois à désigner des plantes croissant sur les arbres auxquelles on attribuait des vertus médicinales..."*

Chantal VAN HALUWYN - Michel LEROND  
GUIDE DES LICHENS

## OUVERTURE

A l'occasion de ce premier séminaire organisé au British Council sur le thème de la bioindication, nous sommes heureux de vous accueillir, vous qui vous passionnez pour notre environnement : enseignants, chercheurs, membres d'associations de naturalistes, forestiers, journalistes et hauts responsables administratifs.

Vous ne manquerez pas d'apprécier les remarques de l'instigateur de cette réunion, toujours agrémentées d'une pointe d'humour toute britannique. J'ai nommé le Professeur Mark Seaward, Directeur du département des Sciences de l'Environnement à l'Université de Bradford, qui nous fait l'honneur d'être présent aujourd'hui.

Je suis également reconnaissante à June Rollinson, Responsable de la Section Scientifique du British Council, qui, séduite par le sujet, a mis toute sa compétence au service de cette réalisation. Nous autres, spécialistes, pouvons la remercier d'avoir ainsi suscité, non seulement une discussion entre lichénologues, mais également la rencontre d'un public éclairé, plus vaste que celui que nous touchons habituellement. Mais je n'aurais garde d'oublier Marie-Claude Mermet, son assistante qui a brillamment assuré l'organisation matérielle du séminaire : qu'elle soit félicitée pour la qualité du travail accompli !

Enfin, j'exprime ma reconnaissance à David Ricks, Président du British Council-Paris, pour le soutien financier apporté aujourd'hui, notamment en ce qui concerne le cocktail de ce soir où vous êtes tous fort aimablement conviés.

Pour terminer, il faut rendre hommage à tous les intervenants qui ont spontanément répondu à notre appel afin de nous éclairer du résultat de leurs travaux. A eux qui ont fait preuve, en venant aujourd'hui de province, d'une grande témérité et à toutes les personnes présentes ici, un grand merci ! Chacun sait en effet que dans un contexte de grève, nul n'est jamais assuré d'un retour sans encombres !

Marie-Agnès LETROUIT-GALINOU



SEMINAIRE

LES LICHENS

BIOINDICATEURS DE LA QUALITE DE L'AIR



algales forment une couche verte : grâce à leur chlorophylle, elles photosynthétisent des glucides dont une partie est transférée au champignon. Les champignons des lichens appartiennent presque tous aux Ascomycètes dont les spores se forment à l'intérieur de cellules en forme de sacs, les asques. Les algues symbiotes les plus fréquentes sont des *Trebouxia*, algues vertes, unicellulaires, caractérisées par un gros chloroplaste central.

## LES LICHENS, INDICATEURS DE LA QUALITE DE L'AIR

Depuis le milieu du XIXe siècle (1866), on sait, grâce au finlandais William Nylander, que les lichens sont très sensibles à la qualité de l'air. Ce chercheur, qui travaillait alors à Paris et herborisait dans toute l'Ile de France, avait remarqué que l'abondance des lichens diminuait à l'approche des villes et qu'ils avaient disparu à Paris, à l'exception du Jardin du Luxembourg. Nylander attribuait cette absence à la mauvaise qualité de l'air. Il écrivait : " *Les lichens donnent, à leur manière, la mesure de la salubrité de l'air, et constituent (si l'on peut ainsi dire) une sorte d'hygiomètre très sensible*".

### WILLIAM NYLANDER

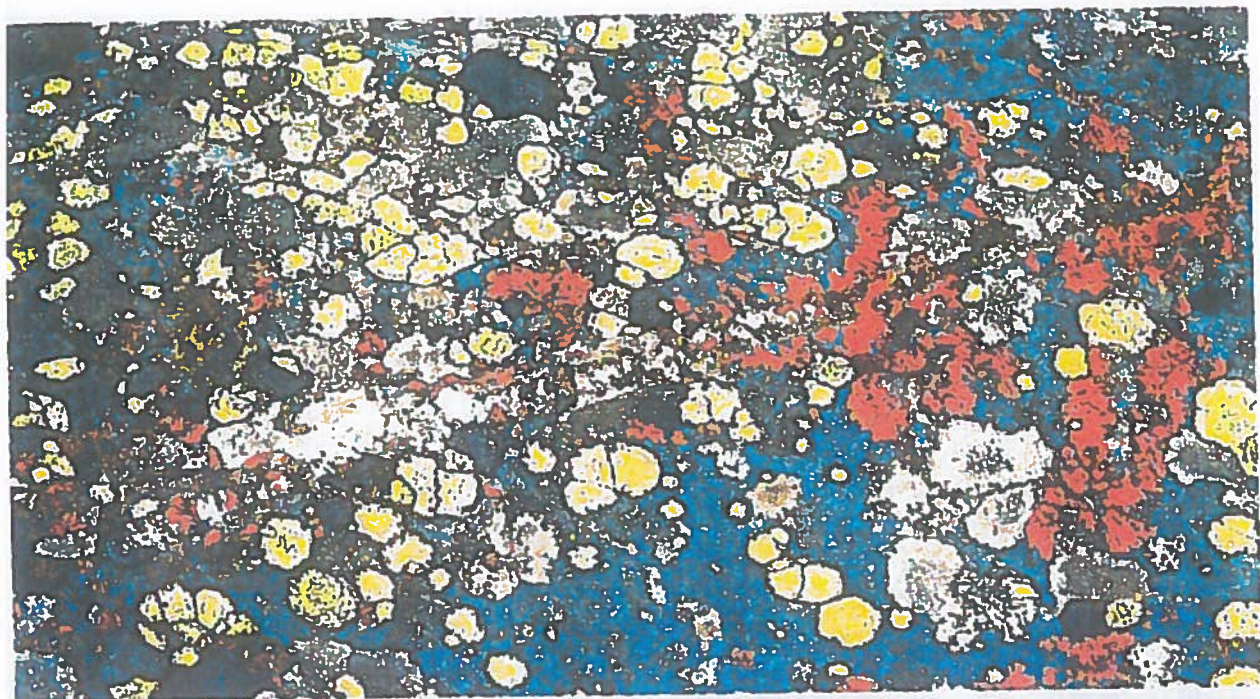
*William Nylander (1822-1899) was one of the world's greatest lichenologists. He started his career in Finland but spent most of his active research period in Paris, France. He became one of the highly regarded universal taxonomists who described new taxa from all over the world. Very many of the thousand of names he proposed are still in use.*

*He published the lichen floras -usually first- of areas like Scandinavia, Algeria, Japan, Sri Lanka, New Zealand, New Caledonia, Colombia and Tierra del Fuego. He also started a world lichen Flora, Synopsis Lichenum, which was never completed, however. He introduced the use of chemical reagents into lichen taxonomy and the principle of the recognition of distinct lichen species based solely on their chemical content -a procedure which still continues to engender heated discussions among lichenologists today. He was also one of the first to recognize the detrimental effect of the city air on lichens -a basic germinal observation for the later extensive studies on the relations of air pollution and lichens. All this is told in the biography written by Prof. Teuvo Ahti in the introduction to Nylander's papers.*

*Nylander published more than 300 papers on lichens (304 entries listed) and many of them are poorly represented even in major botanical libraries.*

*William Nylander's Collected Lichenological Papers*  
CRAMER / GEBRUDER BORNTAEGER VERLAGSBUCHHANDLUNG  
BERLIN STUTTGART





Pl. 1. Les lichens ont des formes variées.

A. Mosaïque de lichens *crustacés* (c'est à dire collés au support) sur un rocher en montagne parmi lesquels *Rhizocarpon geographicum* (jaune) et *Xanthoria elegans* (orange). - B. *Parmelia caperata*, lichen *foliacé*, c'est à dire aplati en feuille et n'adhérant que lâchement au support- C. *Pseudevernia furfuracea*, lichen *fruticuleux*, allongé, découpé en lanières et attaché au support par un disque basal étroit.



**POURQUOI LES LICHENS SONT-ILS PARTICULIEREMENT SENSIBLES A LA POLLUTION DE L'AIR ? (FIG. 2)**

Comme le montreront les prochains orateurs, la sensibilité particulière des lichens à la pollution atmosphérique (notamment celle due au dioxyde de soufre) a été démontrée de façon indiscutable de nombreuses fois. Elle s'explique par des particularités biologiques et structurales dont certaines avaient déjà été signalées par Nylander et qui les différencient nettement des plantes supérieures. Ainsi :


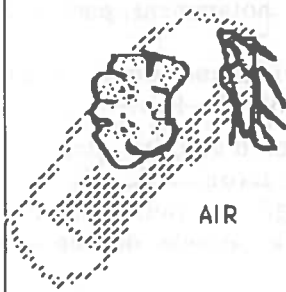
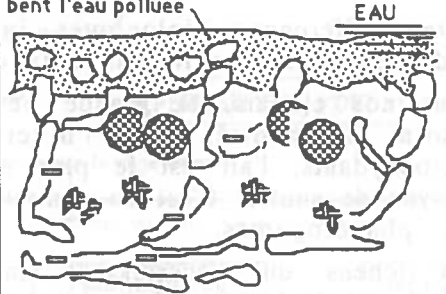

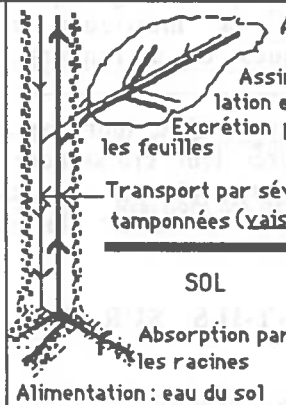
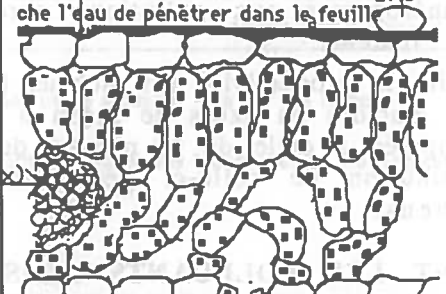
Reproduction	Assimilation et Absorption	Différences structurales des feuilles et des thalles	Biologie	
 <p>spores de quelques micromètres et transportées par l'air</p>	 <p>AIR</p> <p>L'alimentation se fait par l'eau de pluie</p> <p>L'absorption et l'alimentation se fait par le thalle entier</p>	<p>Les mucilages des parois absorbent l'eau polluée</p>  <p>EAU</p> <p>Les poussières sont piégées entre les filaments</p> <p>Les phénols et acides chélatants fixent les polluants</p>	<p>Les lichens sont actifs en hiver.</p> <p>Ils vivent de nombreuses années</p>	LICHENS
 <p>graines à enveloppes épaisses, réserves et germant dans le sol.</p>	 <p>AIR</p> <p>Assimilation et Excrétion par les feuilles</p> <p>Transport par sèves tamponnées (vaisseaux)</p> <p>SOL</p> <p>Absorption par les racines</p> <p>Alimentation : eau du sol</p>	<p>La cuticule, imperméable, empêche l'eau de pénétrer dans le feuillage</p>  <p>EAU</p> <p>Les stomates peuvent se fermer en présence de polluants (so<sub>2</sub>) ou les excréter.</p>	<p>En hiver, les plantes à feuilles sont en vie ralentie</p> <p>Les feuilles caduques ne vivent que quelques mois</p>	PHANEROGAMES

FIG.2.- Pourquoi les lichens sont-ils plus sensibles que les plantes supérieures à la pollution atmosphérique, et en particulier à la pollution subnécrotique\* ?

\* c'est à dire avec un taux faible de polluant, mais agissant longtemps.

\* Les lichens se reproduisent par des spores aériennes, minuscules, offrant à l'air une grande surface de contact. Rien de commun avec les graines des phanérogames qui ont une enveloppe coriace, des réserves abondantes et sont enfouies dans le sol !

\* Sans racines ni vaisseaux conducteurs, vivant sur des milieux pauvres, les lichens sont pour leur alimentation sous la dépendance directe

de l'air. C'est une différence avec les phanérogames qui puisent leur nourriture et leur eau dans le sol où la pluie abandonne une partie de ses polluants. De plus, chez les plantes supérieures, le système racinaire constitue un filtre sélectif puissant tandis que la sève qui baigne les cellules de la plante, constitue un milieu intérieur tamponné, de composition relativement stable et peu dépendant de l'air.

\* Si la morphologie des lichens, aplatis comme des feuilles ou allongés en lanières étroites comme des herbes, rappelle celle des organes assimilateurs des plantes supérieures (feuilles vertes), il existe des différences structurales capitales. Alors que les filaments des lichens ont une paroi mucilagineuse qui absorbe l'eau et un cortex dont les perforations se dilatent passivement par temps de pluie, la feuille d'un phanérogame est recouverte d'une cuticule cireuse imperméable, sur laquelle glisse l'eau de pluie et l'ouverture de ses stomates est contrôlée physiologiquement, de sorte qu'ils se ferment si l'air devient trop pollué, notamment par le SO<sub>2</sub>.

\* Des différences biologiques interviennent aussi pour expliquer la plus grande sensibilité des lichens à la qualité de l'air.

- Sous nos climats, la grande période d'activité des lichens, qui ont besoin d'humidité, est l'hiver, saison où, à l'exception des photooxydants, l'air est le plus chargé en polluants et notamment en dioxyde de soufre. C'est au contraire la période de repos pour la plupart des phanérogames.
- Les lichens, qui s'accroissent lentement (quelques millimètres par an) vivent généralement fort longtemps (plusieurs décennies, plusieurs siècles, parfois même des millénaires). Les feuilles ne vivent que quelques mois (feuilles caduques), au plus quelques années (feuilles pérennes), elles sont donc soumises moins longtemps à l'action des polluants de l'air. Ceci explique la meilleure résistance des phanérogames aux pollutions chroniques et à l'inverse la sensibilité des lichens.
- Enfin, la productivité des lichens (c'est à dire leur capacité à produire des glucides en excès de façon à assurer leur croissance) est très faible comparée à celle de la plupart des autres plantes. Par conséquent, une diminution de celle-ci peut facilement entraîner la disparition des lichens.

### COMMENT LES POLLUANTS AGISSENT-ILS SUR LES LICHENS ? (FIG.3)

Il faut distinguer deux cas selon que le polluant qui a pénétré dans le lichen, interfère ou non avec son métabolisme : dans le premier cas, qui est par exemple celui de nombreux métaux lourds, le polluant va s'accumuler ; dans le cas contraire, il y aura des effets divers sur la croissance, le métabolisme, la longévité.

Parfois, le polluant (on nomme ainsi, toute substance qui, modifiant la composition normale de l'air, entraîne des changements néfastes pour l'environnement) a un effet positif sur la croissance de certaines espèces, ce qui entraîne leur prolifération au détriment d'autres. Par exemple, la présence d'aérosols azotés a provoqué en quelques années le développement de lichens foliacés, verdâtres, particulièrement inesthétiques, sur la basilique Notre Dame De l'Epine, en Haute-Marne.

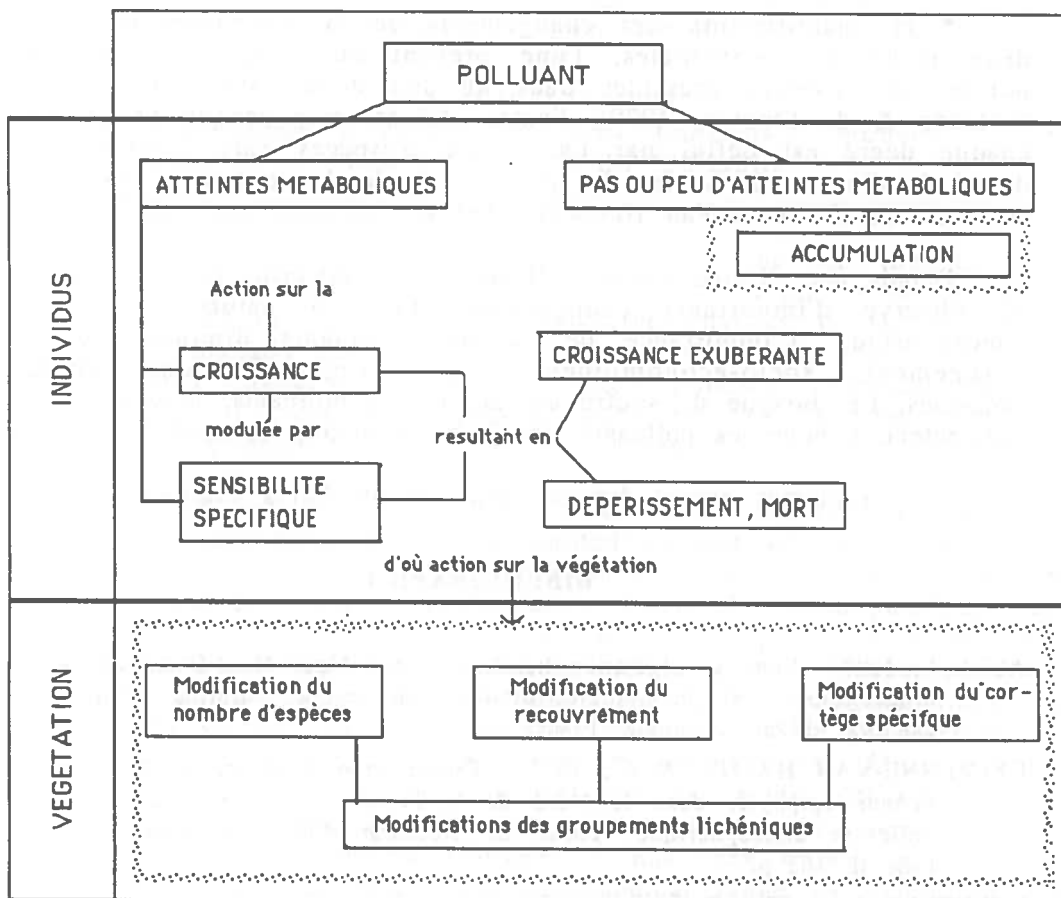


FIG. 3. - Comment les polluants agissent-ils sur les lichens?

☞ Réactions des lichens utilisées dans les techniques de bio-indication

Mais le plus souvent, les polluants conduisent à la mort du lichen. C'est le cas en particulier du dioxyde de soufre dont l'effet néfaste sur les lichens a fait l'objet de nombreuses études. Alors que dans nos régions, on trouve, sur les arbres isolés, en absence de pollution atmosphérique, une végétation lichénique luxuriante, avec de nombreuses espèces foliacées et fruticuleuses, les troncs sont totalement nus dans les zones très fortement polluées, c'est à dire avec un taux de dioxyde de soufre, exprimé en moyenne hivernale, supérieur à  $220 \mu\text{g m}^{-3}$ .

### CONCLUSION : UTILISATION DES LICHENS COMME BIOINDICATEURS

Bien que l'effet de la pollution sur les lichens soit connu depuis le XIXe siècle, les techniques les utilisant comme bioindicateurs n'ont été développées qu'à partir de 1970. Ces techniques sont principalement de deux sortes :

\* le dosage dans les lichens des polluants, généralement peu ou pas solubles, qui s'y sont accumulés. On peut citer le cas du plomb (Déruelle, 1983) ou du fluor (Asta, 1980).

\* la quantification des changements de la végétation lichénique avec deux techniques principales, l'une prenant en compte essentiellement le nombre des espèces présentes dans un site donné avec calcul d'un indice (Leblanc & de Sloover, 1970), l'autre utilisant une échelle préétalonnée dont chaque degré est défini par un groupe d'espèces caractéristique d'un taux donné de dioxyde de soufre. La première étude de ce type réalisée en France est celle de Delzenne-Van Haluwyn (1973).

Depuis une dizaine d'années (Rose et Hawksworth, 1981; Seaward, 1989), on observe d'importants changements dans la nature de la pollution atmosphérique. L'importance de certains polluants diminue par suite de changements socio-économiques ou de réglementations limitant les émissions. Le dioxyde de soufre est un de ces polluants. D'autres au contraire augmentent, comme les polluants liés à la circulation automobile (CO, NO).

Ces problèmes seront évoqués par les prochains orateurs.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ASTA J., 1980 - Flore et végétation lichéniques des Alpes Nord-Occidentales : écologie, biogéographie, écophysiologie, biodétection de la pollution fluorée. Thèse de Doctorat d'Etat, Grenoble, France.
- DELZENNE-VAN HALUWYN C., 1973 - Contribution à l'étude de la distribution des lichens épiphytes dans le Nord de la France. Application au problème de la pollution atmosphérique. Thèse de Doctorat d'Etat en Pharmacie, Université Lille II, 162 p.
- DERUELLE S., 1983 - Ecologie des lichens du Bassin Parisien. Impact de la pollution atmosphérique (engrais, SO<sub>2</sub>, Pb) et relations avec les facteurs climatiques. Thèse de Doctorat d'Etat, Université P. et M. Curie, Paris, 356 p. et annexe 202 p.
- HAWKSWORTH D.L. et ROSE F., 1970 - Qualitative scale for estimating sulfur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227, 145-148.
- NYLANDER W., 1866 - Les lichens du Jardin du Luxembourg. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 13, 364-372.
- LEBLANC F. et DE SLOOVER J., 1970 - Relations between industrialization and distribution and growth of epiphytic lichens in Montreal. *Can. J. Bot.*, 48, 1485-1496.
- ROSE C.I. et HAWKSWORTH D.L., 1981 - Lichen recolonization in London's cleaner air. *Nature*, 289, 289-292.
- SEAWARD M.R.D., 1989 - Lichens as monitors of recent changes in air pollution. *Plants Today*, 2, 64-69.

# LICHENS AS MONITORS OF QUANTITATIVE AND QUALITATIVE CHANGES IN AIR POLLUTION

by M. R. D. SEAWARD

Department of Environment Science, University of Bradford  
West Yorkshire BD7 1DP ENGLAND

Considerable data exist linking the decline of the lichen flora throughout Europe and elsewhere over the past two centuries to an increase in air pollution. During this period quantitative changes in air pollution have differed both spatially and temporally ; this is particularly true of the past two decades, when changes in national energy policies, economic factors and implementation of clean air legislation have resulted in atmospheric regimes having markedly different effects on the lichen flora.

On the one hand, relatively small areas experiencing improved air quality have been reinvaded by a limited number of species which exploit selective habitats, such as the colonization by saxicolous lichens of high pH substrata which buffer potentially harmful atmospherically-derived pollutants. On the other hand, dilution of emissions, adopted by some authorities as a solution to air pollution, has resulted in blanket pollution over major geographical areas, with profound effects on the lichen flora. Even a small rise in sulphur dioxide levels can cause a decline in diversity, species responding according to their sensitivity to this pollutant. More recently, the differing effects on lichens of both wet and dry acidic deposition have been detected in the field, but as yet little experimental work has been carried out to substantiate these observations. However, it has been shown that some species have extended their ecological and geographical range by exploiting acidified substrata.

Lichens have been extensively employed to monitor the extent or spread of air pollution, particularly sulphur dioxide, and bioindicational scales based on species diversity and/or simple phytosociological analyses have been developed for this purpose. There is a clearly defined negative relationship between species diversity and the concentration of the pollutant. The study of lichens in areas affected by air pollution has largely been based on distributional studies. These have enabled the construction of zonal maps, in which the distribution of one or more species correlates well with prevailing levels of pollution, and the formulation of bioindicational scales for evaluating air pollution levels.

The strategy of toxitolerant species in adapting to the multiplicity of problematic factors operating in polluted environments varies considerably; their reproductive spores and propagules readily colonize certain substrata, particularly those which can buffer or neutralize potentially harmful acidic deposition. From an ever-present rich air spora, only a few species are capable of surviving the crucial stages of establishment, germination and development. Once established, such species are often aggressive, and, under conditions of amelioration, have generally proved to be highly competitive, to the exclusion of those species which would otherwise normally be growing under such regimes. Substrata are dominated by a very few lichen and algal species, and often only a single species prevails. Once established, such strongly competitive species, with a high reproductive capacity and a



tenacious hold on the substrata they colonize, can create monovegetational cover, even when a reduction in air pollution level would presuppose reinvasion by formerly successful species.

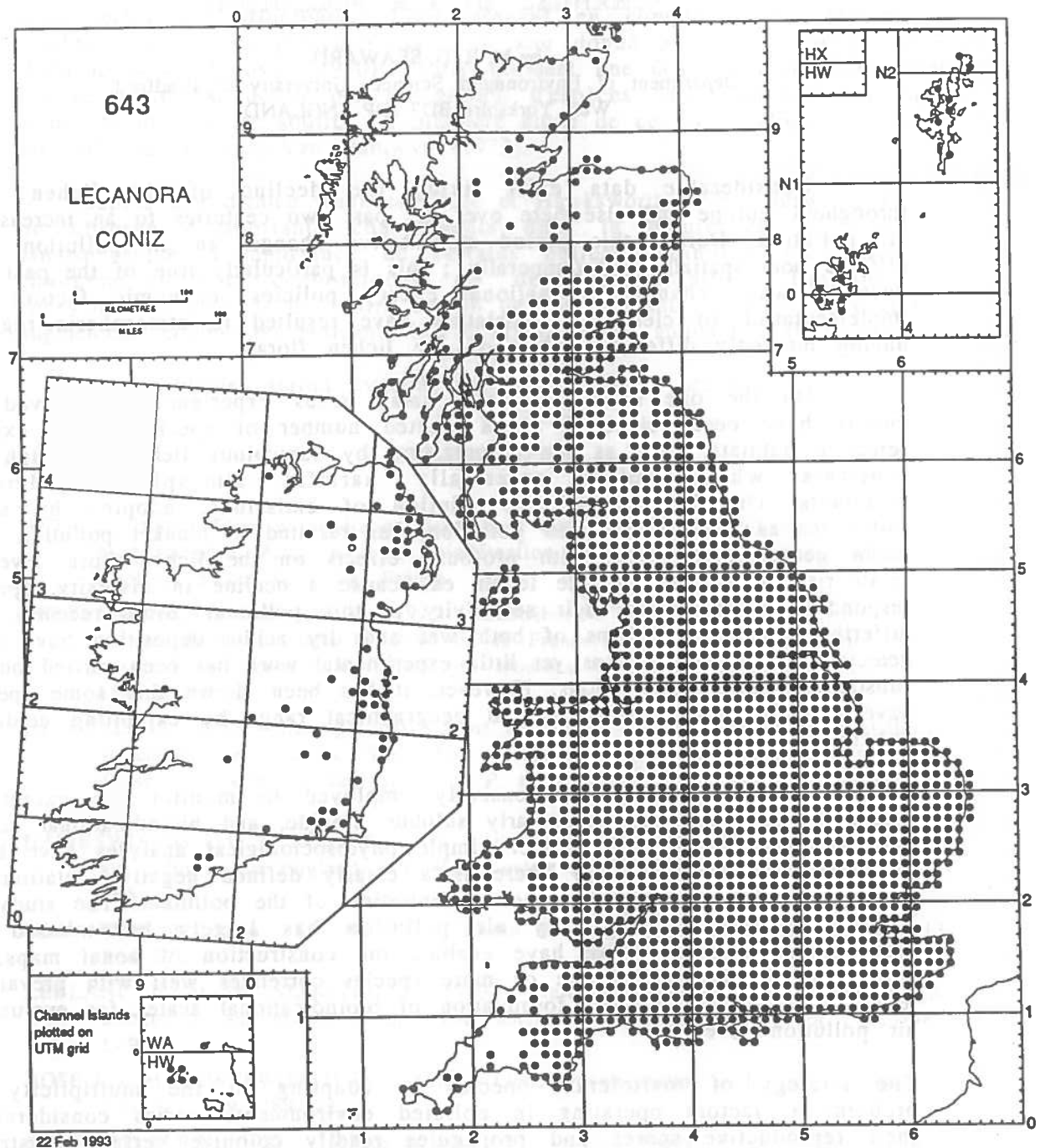


Figure.1. Distribution of *Lecanora conizaeoides* in the British Isles (February 1993)

*Lecanora conizaeoides* (Figure 1) exemplifies this strategy : its rise to dominance throughout major geographical areas of Europe over the past half century is without parallel. Air-polluted environments provide an ideal milieu

for the spread of this taxon, and even amelioration, resulting from the implementation of clean air policies, has not as yet broken its monopoly of substrata. The monotonous verdure created by such a species, which coats tree trunks under these regimes, has profound effects on the invertebrates which feed on, shelter in, and are camouflaged by epiphytes.

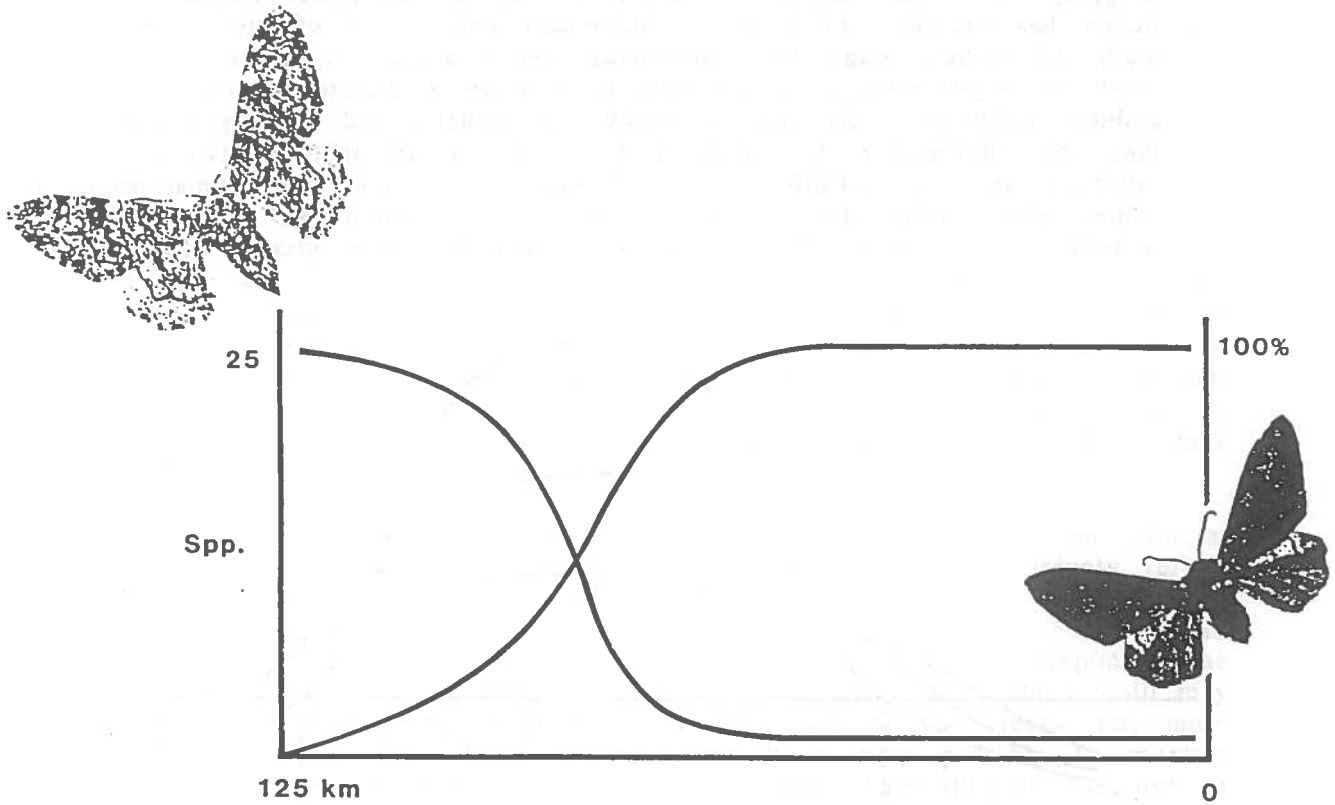


Figure 2. Transect (125 km) from polluted (right) to unpolluted (left) region of the British Isles to show the ratio between melanistic and typical forms of the peppered moth (*Biston betularia*) in relation to diversity of lichen epiphytes. 100% of the melanistic form in the polluted areas coincides with a poor epiphytic flora (1 or 2 species) ; 100% of the typical form in the unpolluted areas coincides with a rich epiphytic flora (25+ species)

Of particular interest in this respect is the evolution of industrial melanism in the peppered moth (*Biston betularia*) : the relationship between the diversity of epiphytic lichens and the relative population numbers of the melanic and non-melanic forms of *B. betularia* have been extensively researched over the past few decades (Figure 2). More recently, there have been remarkably changed (reversals) in the ratio between the two forms in many parts of the British Isles as a result of the implementation of clean air policies. There is strong reason to believe that these monospecific, verdurous lichen/algal communities advantage one or other of the phenotypes. Notwithstanding considerable amelioration of air pollution in recent years, these species-poor communities, with few exceptions, continue to dominate such areas. Furthermore, associated fungal communities are also affected. Thus, although the parasite *Athelia arachnoidea* is widespread on a range of

lichens, its spread in recent years has been due to predelication for *Lecanora conizaeoides* and *pleurococcoid algae* dominating air-polluted areas.

Depending on the species, lichens take several to many years to respond to ameliorating conditions, whereas a sudden increase in air pollution produces a much more rapid effect. The time-lag between pollution levels dropping below an identifiable threshold and the successful colonization of a lichen has therefore to credibly established before any effective use can be made of lichen maps for monitoring amelioration. In areas implementing clean air legislation, it is difficult to identify a direct relationship between ambient pollution levels and the success of lichens, and recently collated data may be ineffective in demonstrating any relationship between species diversity and air pollution level. However, the undoubted improvement in some lichen floras during recent years, as illustrated by species diversity relative to the distance from pollution sources, has been clearly demonstrated.

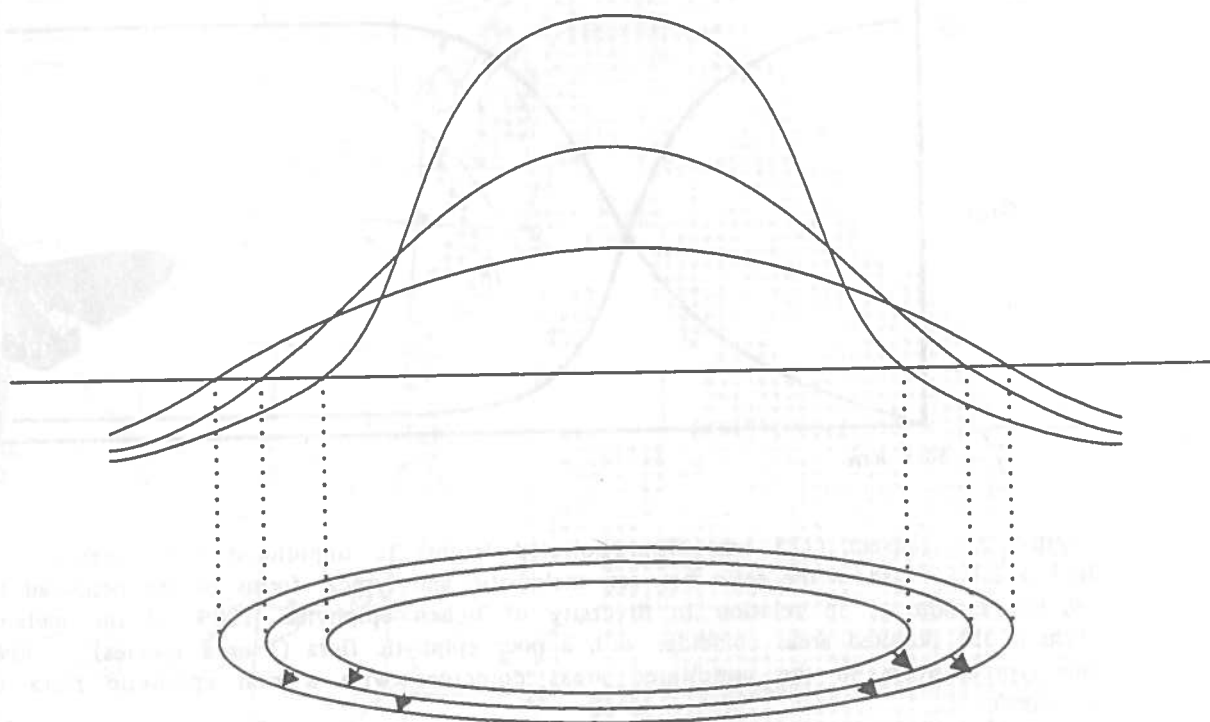


Figure 3. Model to show how a dramatic decrease in air pollution due to the implementation of certain clean air policies in urban areas, or indeed over major geographical areas, can bring about a minor increase in pollution level at the periphery which may have a significant effect on the lichen flora there : the susceptibility threshold, as defined by the horizontal line, for a group of lichen species is exceeded, thereby bringing about their extinction from a larger area than before.

The above considerations refer mainly to urban/industrial complexes, where in the past pollution has undoubtedly devastated the lichen flora over relatively small areas. There is also a wealth of evidence to demonstrate the selective decline of lichen species over much wider areas during the past two centuries, mainly attributable to the rise in sulphur dioxide levels, although other pollutants and changing forestry and agricultural practices are

although other pollutants and changing forestry and agricultural practices are implicated. More recently, implementation of clean air legislation and changes in energy policies and industrial practices have resulted in both qualitative changes in, and dramatic reductions in level of, air pollution with consequent reinvasion by lichens (albeit slowly as yet confined to a limited number of species). At the same time a less dramatic, but nevertheless significant, rise in pollution levels over wide geographical areas due to changes in pollutant dispersion techniques has resulted in the loss of a number of lichen species (Figure 3), although others have been able to exploit/tolerate the new atmospheric regimes.

The distribution of *Usnea* spp. in the British Isles illustrates the type of change which has occurred since about 1800. The genus, at one time widespread and luxuriant, had over the course of the next 160 or more years almost entirely disappeared from a major area covering at least 68,000 km<sup>2</sup> (Figure 4), mainly as a result of the increase in atmospheric pollution. However, since the implementation of the Clean Air Acts of 1956 and 1968 in the UK, sulphur dioxide concentrations have declined dramatically in urban/industrial areas, with less dramatic reductions, or indeed occasional rises due to change in pollutant dispersion techniques, in rural areas, so that much of the British Isles is now experiencing a more homogeneous distribution of this pollutant.

The re-establishment of *Usnea* spp., usually on *Fraxinus* and *Salix*, at numerous sites throughout England during recent years may largely reflect decreases in pollution levels (Figure 5) ; there is some evidence that *Ramalina farinacea*, *Evernia prunastri*, *Bryoria fuscescens*, *Pseudevernia furfuracea* and *Platismatia glauca* are exhibiting a similar response. The stability of these taxa at many of these sites is tenuous, since small thalli may succeed in establishing themselves for only one or two years, but more stable situations have been reported and it is now possible to monitor ameliorating environments on a relatively large scale through the use of lichen mapping.

More recently, it has been observed that fruticose lichens such as *Usnea* spp. survive at the expense of certain foliose and crustose species which would normally occur as epiphytic associates at the outer limits of areas experiencing 'blanket pollution'. From our knowledge of the behaviour of lichens subjected to sulphur dioxide air pollution, it has been possible to rank species according to their sensitivity to this pollutant (in essentially dry deposition form), and it is apparent that the fruticose species are more susceptible to this gas than many foliose and crustose species. A situation is developing whereby certain foliose lichens, such as *Parmelia sulcata*, a species tolerant of a moderate level of sulphur dioxide, have succumbed to the new atmospheric regime. The original assemblage has often been replaced by one which includes a few thalli of fruticose lichens known to be less tolerant of sulphur dioxide. In the light of this, standard bioindicational scales will require certain modifications in the future to account for these hierarchical changes.

"Acid rain" can affect lichens both directly, as described above, or indirectly by the acidification of substrata. In cities, calcareous substrata are more favourable than non-calcareous ones for lichen colonization, and the high pH of such substrata as mortar and asbestos-cement provides a buffering effect from the toxicity of vitiated atmospheres. It would appear that acidic deposition has to be counteracted by a substratum with an artificially high pH if lichens are to succeed in a polluted environment. This

the pH of the saxicolous substratum colonized and the ambient air pollution level.

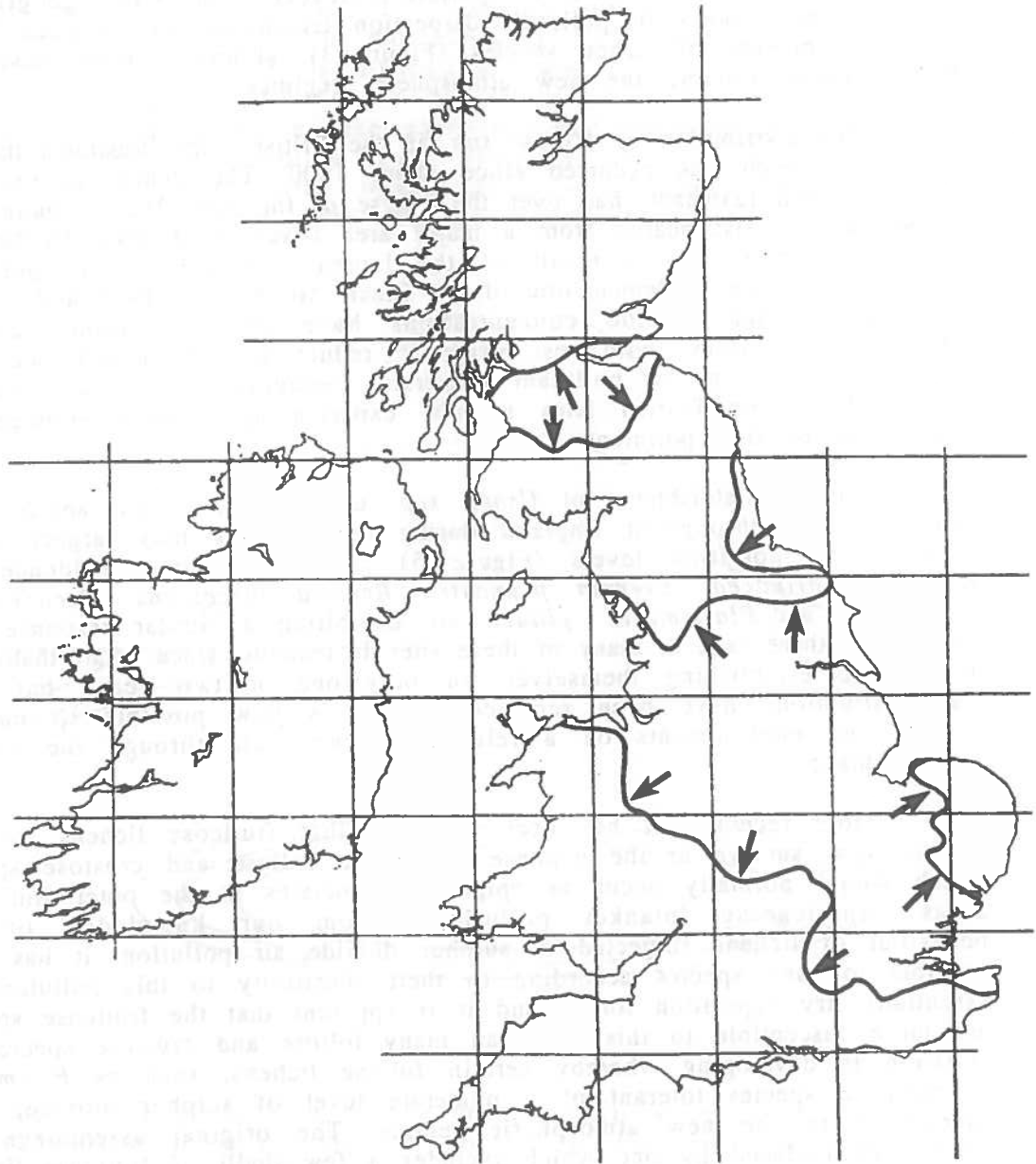


Figure 4. Map showing the two major areas of Britain from which the great majority of lichen species, typified by *Usnea* spp. (see also Figure 5), disappeared during the period 1800 to 1970.

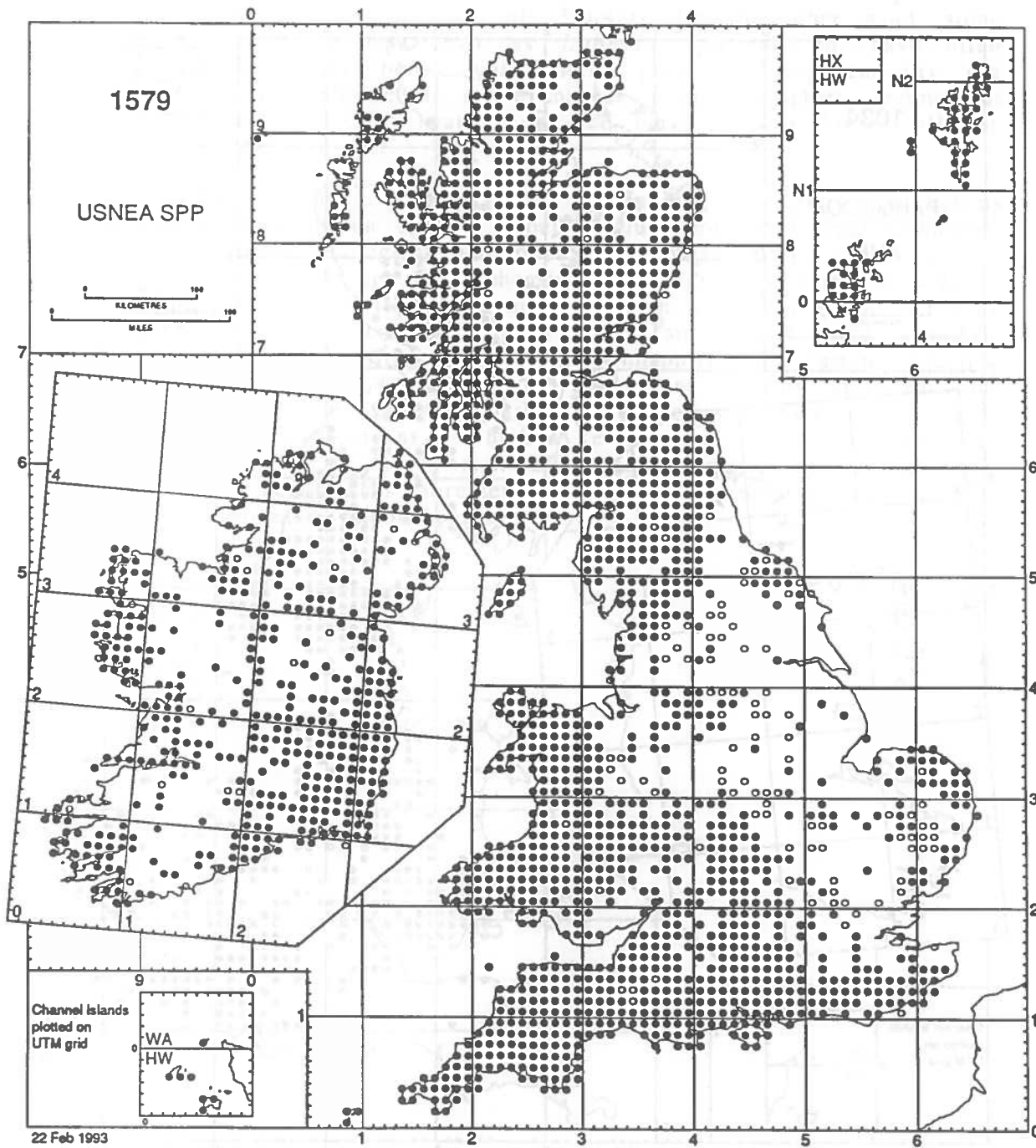


Figure 5. Distribution of *Usnea* spp. in the British Isles (February 1993) ; o = pre-1960 records, • = 1960+ records. Note that the genus has re-established itself since c. 1975 in area (as defined in Figure 4) from which this genus had disappeared prior to 1970 ; this reversal has been due to the implementation of clean air legislation.

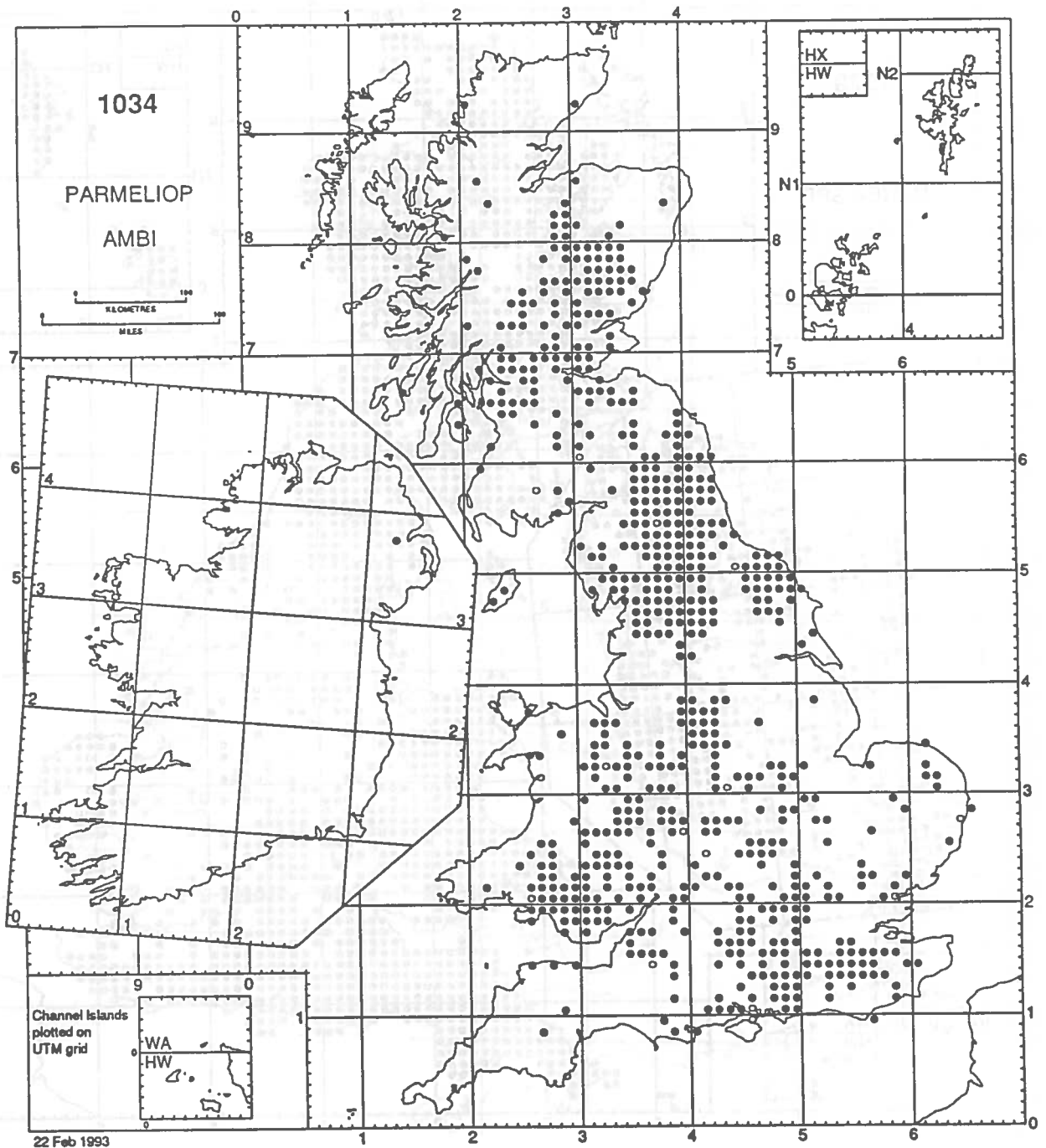


Figure 6. Distribution of *Parmeliopsis ambigua* in the British Isles (February 1993).

Similar phenomena to the exploitation of calcareous substrata by saxicolous species have been observed in respect of epiphytes. *Parmeliopsis ambigua*, for example, which was formerly to be found mainly on decorticate conifer wood in Scotland, has, over the past few decades, undergone a



undergone a remarkable expansion onto deciduous trees in moderately polluted areas throughout Britain (Figure 6), presumably in response to increased bark acidification (to pH 3.0-4.0). On the other hand, some pollution-sensitive species, such as *Lobaria pulmonaria*, have often disappeared from tree barks which have poor buffering capacity (eg *Quercus*) in areas subjected to subtle changes in the atmospheric regime, but nevertheless appear to be healthy on tree barks with a higher pH (eg *Fraxinus*) at the same site.

Profitable lines of enquiry into determining the effects on lichens of the new air pollution regimes should include long-term field techniques involving stringent ecological and phytogeographical criteria. Such studies are made possible through comprehensive on-going programmes of detailed lichen mapping and biological monitoring, with particular attention being paid to a range of selected habitats in critical areas where more immediate changes can be scientifically diagnosed. Unhappily, the current situation regarding atmospheric pollution may be too urgent to allow sufficient time for relatively long-term investigations, and reliance will have to be placed on short-term evaluations. Whereas earlier air pollution episodes principally affected relatively small urban and industrial areas, the newer air pollution occurrences threaten much more extensive and hitherto relatively unpolluted remote regions.



# **EVOLUTION DE LA VEGETATION LICHENIQUE EN REGION PARISIENNE ENTRE 1981 ET 1991, EN RELATION AVEC LA QUALITE DE L'AIR.**

**par S. DERUELLE et F. GUILLOUX**

Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de Cryptogamie, Case 33  
7 Quai St Bernard 75252 PARIS CEDEX 05

## **INTRODUCTION**

Le monde végétal, animal et minéral est plus ou moins sensible à la pollution atmosphérique. Les lichens, et plus particulièrement les lichens épiphytes, qui poussent sur les arbres, sont des végétaux qui réagissent à des doses infimes de polluants. Ils permettent de détecter l'existence d'une pollution, bien avant que les effets nocifs ne se fassent sentir sur les animaux ou sur les pierres des églises ou des cathédrales, par exemple.

L'intérêt d'un indicateur biologique est de réagir vite aux variations de l'environnement. Les particularités des lichens font que ces végétaux sont de véritables clignotants de la qualité de l'air. Depuis une vingtaine d'années, on les utilise comme indicateurs biologiques de la pollution atmosphérique dans de nombreuses régions du monde et notamment en France.

Cet exposé préliminaire va traiter de l'évolution de la végétation lichénique en Région parisienne, entre 1981 et 1991, en relation avec la qualité de l'air. La Région parisienne est administrativement définie comme étant située dans un rayon de 30km autour de Paris. Pour des raisons techniques liées à la méthode de cartographie en réseau, nous avons en fait exploré un rectangle de 72km sur 70km.

Le découpage en mailles de 3,3km sur 5km est identique à celui utilisé en 1981 par S. DERUELLE. Il en résulte une comparaison très précise de l'état de la végétation lichénique entre ces deux années.

Une extension des relevés à toute la région Ile de France, permettra d'établir un instantané de la qualité de l'air pour les années 1991-1992. Le suivi de la qualité de l'air pourra ainsi être envisagé pendant les années à venir.

Le choix des lichens s'explique par plusieurs particularités structurales et fonctionnelles possédées par ces végétaux, et notamment par quelques différences

fondamentales avec les végétaux supérieurs. Ces particularités ont été exposées précédemment par M.A. LETROUIT-GALINOU au cours de la présentation de la journée.

Aux réactions individuelles des lichens, s'ajoutent des modifications au niveau de la flore lichénique elle-même, à l'approche des foyers de pollution. La diminution du nombre d'espèces, du recouvrement et de la fertilité se traduit par l'absence totale de lichens au centre des grandes zones urbaines et industrielles (au-dessus d'un certain taux de pollution), et par une zonation caractéristique lorsque l'on s'éloigne des foyers d'émission. Le désert lichénique où l'on ne rencontre aucun lichen sur le tronc des arbres, a été observé dans des centaines de villes. Lorsqu'on s'éloigne du centre de ces villes, on constate l'apparition de lichens en fonction de leur sensibilité individuelle.

De nombreuses cartes de la qualité de l'air ont été établies, de cette façon, autour des grandes villes, en France et un peu partout dans le monde. Plusieurs méthodes ont été décrites pour quantifier le niveau de la pollution atmosphérique. Nous rappellerons rapidement leur principe, avant de comparer les résultats obtenus à dix ans d'intervalle dans la Région parisienne.

## METHODES D'ETUDE

Trois types de méthodes pour la cartographie de la pollution atmosphérique acide, à partir de l'observation de la végétation lichénique, ont été utilisées par les différents lichénologues. Une étude détaillée de DERUELLE (1978a), décrit leur principe et souligne les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles. En considérant les améliorations de ces dernières années, on peut retenir:

- les **méthodes qualitatives**, permettant la détermination du degré de pollution directement à la suite de simples observations;
- les **méthodes quantitatives**, nécessitant le calcul mathématique d'un indice de pollution;
- les **méthodes indirectes**, faisant appel à une expérimentation.

En 1981, la cartographie de la pollution acide a été réalisée pour la Région parisienne *sensu stricto*, en utilisant deux méthodes: la méthode dite de HAWKSWORTH et ROSE qui est une méthode qualitative et la méthode quantitative dite de l'I.A.P. Une discussion méthodologique très approfondie (DERUELLE, 1983), montre que ces deux méthodes présentent une sensibilité comparable, mais que la méthode qualitative de HAWKSWORTH et ROSE, plus simple, est beaucoup plus rapide, et moins onéreuse. Nous avons donc retenu cette méthode pour établir une nouvelle carte de la qualité de l'air en 1991, et pour prospecter toute l'Île de France.

### 1- principe de la méthode de HAWKSWORTH et ROSE.

Le principe de la cartographie de la pollution acide comporte trois étapes, consistant à:

- établir des relevés de végétation sur le terrain;

- comparer les relevés avec une échelle de référence;
- regrouper sur une carte et dans une même zone les relevés ayant une pollution voisine.

#### **+ établissement des relevés**

En terme de pollution atmosphérique, le mot "relevé" a un sens différent de celui utilisé lors des études phytosociologiques. Il s'agit ici d'établir la liste des lichens présents dans une station, sur plusieurs arbres (phorophytes) de même espèce. L'existence de plusieurs espèces de phorophytes dans la même station a parfois permis d'y faire plusieurs relevés.

#### **• grille de référence**

La Région parisienne (72km x 70km) a été divisée en une grille de 308 mailles de 3,3km sur 5km selon la méthode classique de cartographie en réseau. Les dimensions des mailles (0,05 grade de côté) permettent de superposer les cartes sur le découpage de la France en grades (méridien-, origine de Paris), découpage habituellement utilisé dans ce type de cartographie. Les 308 mailles ont été explorées pendant les années 1980 et 1981, puis à nouveau au cours des années 1991-1992. Les 778 stations observées la première fois ont été à nouveau explorées dans la mesure où les arbres étaient encore présents.

#### **• choix des arbres**

A chaque station, une dizaine d'arbres, ayant si possible un diamètre du tronc compris entre 0,40m et 1m à la hauteur de la poitrine (1,50m du sol) sont examinés. Seuls les arbres isolés et non inclinés (homogénéité des conditions microclimatiques) ont été retenus. Par arbres isolés, on entend des arbres non regroupés en un écosystème forestier avec son microclimat particulier. Ainsi, une rangée d'arbres sur le bord d'une route sera considérée comme un ensemble d'arbres isolés. Les relevés ont d'ailleurs souvent été faits sur de telles rangées, soit le long des routes ou de certaines rues, soit autour des places des agglomérations.

#### **• modalités des relevés**

Trente deux espèces de lichens connus pour leur sensibilité à la pollution atmosphérique et de détermination facile, ont été recherchées à chaque station. La présence d'un lichen est notée sur une fiche de relevé (voir modèle en annexe), avec éventuellement certains caractères comme la fertilité, la présence de germinations ou l'abondance exceptionnelle des thalles.

#### **+ comparaison des résultats avec l'échelle de HAWKSWORTH et ROSE**

Nous avons utilisé l'échelle de référence de HAWKSWORTH et ROSE, mise au point en Grande Bretagne en 1970 (cf. HAWKSWORTH et ROSE, 1970). Cette échelle a été employée en France, pour la première fois dans la région du Nord en 1973 (DELZENNE-VAN HALUWYN, 1973), avant d'être ensuite utilisée en Normandie (LEROND, 1978; LEROND, 1979; LEROND, 1981) et en Ile de France (DERUELLE, 1977; DERUELLE, 1978b; DERUELLE, 1981; DERUELLE, 1983). Un inventaire des travaux français a en outre été publié par VAN HALUWYN *et al.* (1986), suite à un colloque organisé par la Société Botanique de France. Ces auteurs ont tenté d'améliorer cette échelle et de l'adapter à la région étudiée. Enfin une réflexion importante sur ce thème a été menée par VAN HALUWYN et LEROND (1986) qui proposent d'utiliser une échelle à sept degrés, établie en utilisant les principes de la lichénosociologie.

Rem. la méthode de l'I.A.P. mise au point par LEBLANC et DE SLOOVER (1970), après avoir été préconisée par DE SLOOVER (1964), est une méthode qui consiste à quantifier la végétation lichénique en fonction de sa richesse. Elle nécessite la détermination de tous les échantillons présents sur les arbres pour calculer l'indice écologique de chaque espèce. La méthode de l'I.A.P., utilisée il y a dix ans, dans la Région parisienne, parallèlement à la méthode de HAWKSWORTH et ROSE, n'a pas été reprise dans le cadre de ce travail.

La comparaison des relevés avec l'échelle de référence permet de leur attribuer une valeur correspondant à la pollution moyenne hivernale. La moyenne retenue ici est précisément la moyenne mensuelle hivernale calculée pendant les six mois d'hiver (octobre à mars). La pollution acide est conventionnellement exprimée en microgramme de dioxyde de soufre par mètre cube d'air ( $\mu\text{g}$  de  $\text{SO}_2 \times \text{m}^{-3}$ ). L'échelle initialement proposée par les chercheurs anglais comporte onze zones de pollution.

#### **+ établissement de la carte de la qualité de l'air**

Les résultats peuvent être présentés de plusieurs façons, en fonction des modalités de la cartographie (échelle, maillage, transects) et selon la précision recherchée. La carte peut être une juxtaposition de carrés ou de rectangles correspondant à une maille. Elle peut aussi être réalisée en traçant des lignes d'isopollution semblables aux courbes de niveau. Dans tous les cas, on obtient une carte avec des auréoles de pollution décroissante, disposées autour d'un foyer central de pollution. Les auréoles qui ne sont pas nécessairement concentriques, peuvent présenter des digitations en relation avec la direction des vents dominants ou avec la topographie locale, par exemple.

#### **2 - adaptation de l'échelle de pollution à la Région parisienne.**

Dans la Région parisienne, l'échelle de HAWKSWORTH et ROSE a été modifiée, et seulement six zones de pollution ont été retenues. Un tel regroupement est souvent réalisé par les auteurs. Il est en effet parfois difficile d'identifier toutes les zones sur le terrain, soit à cause de l'absence de phorophytes ou soit à cause de l'insuffisance de la flore lichénique elle-même. En ce qui concerne la région étudiée, la quantité de phorophytes était suffisante dans toutes les mailles, mais c'est la pauvreté de la flore lichénique qui nous a obligé à procéder à quelques aménagements.

Dans la partie la plus polluée, les zones 0 et 1 d'une part, et les zones 2 et 3 d'autre part, ont été rassemblées en deux zones seulement. De même lorsque la pollution est peu élevée, la différenciation de la zone 8, de la zone 9 et de la zone 10 qui n'est pas toujours aisée, nous a amené à les regrouper en une seule zone. Ceci est en partie dû à l'imprécision de l'échelle, qui fait ici appel à des espèces de faible répartition géographique, répartition surtout déterminée par des exigences écologiques (substrat, humidité, etc...) indépendantes de la pureté de l'air. Enfin, les zones 7 et 8 qui représentent les deux zones les moins polluées dans la Région parisienne, ont aussi été réunies en une seule zone. De cette façon, nous avons obtenu une carte comportant six auréoles de pollution autour de Paris.

## RESULTATS

Les résultats ont été regroupés sur une carte où chacune des 308 mailles a été affectée d'une couleur caractéristique de l'un des six niveaux de pollution acide retenu:

- la zone rouge correspond à une pollution de l'ordre de  $170 \mu\text{g}$  de  $\text{SO}_2$  par  $\text{m}^3$  d'air;
- la zone rose possède une moyenne de 125 à  $150 \mu\text{g}$  de  $\text{SO}_2 \times \text{m}^{-3}$ ;
- la zone bleu foncé est une zone de pollution voisine de  $70 \mu\text{g} \times \text{m}^{-3}$ ;
- la zone bleu clair a une pollution de l'ordre de  $60 \mu\text{g} \times \text{m}^{-3}$ ;
- la zone vert foncé possède une pollution voisine de  $50 \mu\text{g} \times \text{m}^{-3}$ ;
- la zone vert clair, riche de 20 à 25 espèces, est une zone où la pollution est inférieure à  $40 \mu\text{g}$  de  $\text{SO}_2$  par  $\text{m}^3$ .

### RESULTATS OBTENUS EN 1981

#### 1- Cartographie de la qualité de l'air en 1981.

En allant du centre de la Région parisienne, vers la périphérie, on peut distinguer:

**1°-** une zone de pollution supérieure ou égale à  $170 \mu\text{g} \times \text{m}^{-3}$  (zone rouge), plus ou moins elliptique avec un grand axe d'environ 30 km, orienté NW-SE, et un petit axe de 20 km orienté SW-NE. Ce foyer central de pollution possède une digitation vers le S correspondant à la partie très industrialisée de la banlieue S, et une autre digitation au NW soulignant la vallée industrielle de la Seine. Cette zone occupe 15% de la superficie étudiée. Elle est caractérisée par une végétation épiphyte réduite, uniformément vert grisâtre avec le *Pleurococcus viridis* s.l. et parfois quelques  $\text{cm}^2$  de *Lecanora conizaeoides*. L'algue *Pleurococcus viridis*, particulièrement toxitolérante est présente dans toute la Région parisienne, y compris à l'intérieur de Paris, où elle est d'ordinaire le seul épiphyte présent.

**2°-** une auréole concentrique à la zone précédente, de 3 à 5 km de large, et recouvrant 17% de l'ensemble. Cette zone (zone rose) a une pollution moyenne comprise entre 125 et  $150 \mu\text{g} \times \text{m}^{-3}$ . La physionomie de la végétation épiphyte est marquée par la présence du lichen crustacé et vert *Lecanora conizaeoides* qui recouvre plus ou moins abondamment les troncs. Ce lichen est parfois accompagné par quelques autres espèces crustacées comme *Lepraria expallens*, *Buellia punctata* et même *Diploicia canescens*. L'ensemble de ces deux zones recouvre à peu de chose près la zone urbanisée de l'agglomération parisienne.

**3°-** une zone concentrique, aussi large au S et à l'W et plus importante au N et à l'E où elle atteint une dizaine de km. Cette auréole, de couleur bleu foncé, qui représente 19% est caractéristique d'une pollution de l'ordre de  $70 \mu\text{g} \times \text{m}^{-3}$ . On y rencontre une végétation lichénique typique de ce taux de pollution, définie par l'abondance du *Diploicia canescens* et par la présence, au moins à la base des troncs,

de quelques espèces foliacées comme *Physcia adscendens*, *Xanthoria parietina*, *Hypogymnia physodes* et *Parmelia sulcata*.

4°- une auréole discontinue pouvant atteindre 5 km de large et même le double au N (zone bleu clair). Cette zone qui occupe 15% de l'ensemble, témoigne d'une pollution de  $60 \mu\text{g} \times \text{m}^{-3}$ . La végétation épiphyte montre, par rapport à l'auréole précédente, un enrichissement du nombre d'espèces et une augmentation du recouvrement. Les espèces *Diploicia canescens*, *Xanthoria parietina*, *Hypogymnia physodes* et *Parmelia sulcata* sont abondamment représentées. D'autres thalles, quoique très dispersés, sont toujours présents. On peut citer les espèces suivantes: *Pertusaria amara*, *Physconia grisea*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia tenella*, *Parmelia acetabulum*, *Evernia prunastri* et *Ramalina farinacea*.

5°- une auréole irrégulière de largeur variable (zone vert foncé) et correspondant à 18% de la surface étudiée. Cette zone de pollution voisine de  $50 \mu\text{g} \times \text{m}^{-3}$  est nettement décalée vers la périphérie au S et à l'W-NW au niveau des zones industrialisées de la banlieue S et de la vallée de la Seine, zones déjà signalées précédemment. Elle se situe donc en dehors des limites de notre carte. Il en est de même au N de Paris où elle existe à plus de 30 km de la capitale. La végétation lichénique est caractérisée par l'abondance de deux espèces foliacées (*Physconia grisea* et *Parmelia acetabulum*), et par l'apparition de nouvelles espèces du genre *Parmelia*, *Physconia* et *Pertusaria*.

6°- une dernière zone (vert clair), de superficie 16% où le taux de pollution, égal ou inférieur à  $40 \mu\text{g} \times \text{m}^{-3}$ , est le plus faible de la région étudiée. Cette zone déborde souvent à l'extérieur de la Région parisienne. La flore lichénique, riche de 20 à 25 espèces, comporte une abondante strate de lichens foliacés, plus ou moins recouverte d'une strate de lichens fruticuleux comprenant les trois espèces de *Ramalina* (*Ramalina farinacea*, *Ramalina fastigiata* et *Ramalina fraxinea*), l'*Anaptychia ciliaris* et quelquefois des *Usnea*.

## 2- Comparaison des résultats de l'estimation (lichens) et des mesures (capteurs).

Ces résultats ont été comparés avec les capteurs de pollution acide alors en place. En 1981, nous avons pu obtenir les résultats des mesures des 72 capteurs installés dans la Région parisienne. Nous avons retenu la moyenne hivernale de la pollution, mesurée sur une période de cinq années.

Un calcul de régression sur l'ensemble des données montre une corrélation ( $r=0,78$ ) hautement significative, avec un coefficient de sécurité de 0,99 entre les deux types de résultats.

Dans les deux tiers des observations, soit pour 49 capteurs, les résultats sont concordants, avec un écart inférieur à 20% entre la valeur estimée et la valeur mesurée. Pour 36 mesures, soit pour la moitié des capteurs, on a même un écart inférieur à 10%.

Dans le tiers des cas, soit pour 23 capteurs, nous avons des résultats discordants. Une analyse minutieuse des données a montré que pour 11 capteurs, il y avait eu un fonctionnement anormal du matériel, avec des pannes et des périodes plus ou moins longues sans mesures. Par contre, à 12 reprises, des différences sensibles existent entre la mesure physique et l'estimation biologique. Ces 12 capteurs, installés dans 7 localités montrent parfois des résultats très différents pour des prélèvements effectués à peu de distance les uns des autres. Il peut s'agir de variations locales de la pollution, induites par des facteurs locaux comme le vent, la topographie ou l'existence d'un écran protecteur dû à des constructions par exemple. Il nous a semblé que la moyenne obtenue sous-estimait la pollution réelle.

En conclusion de cette partie, nous pouvons retenir que **la méthode biologique donne une bonne image de la qualité de l'air dans la Région parisienne**. La qualité de l'estimation est liée à quelques propriétés remarquables des lichens.

Nous signalerons pour terminer que les lichens, ici utilisés pour estimer la pollution acide, sont aussi d'excellents indicateurs d'autres types de pollutions, comme la pollution plombique, la pollution azotée, la pollution fluorée, ou encore la pollution radioactive, par exemple.

## RESULTATS OBTENUS EN 1991

Les mêmes mailles et le plus souvent les mêmes stations qu'en 1981 ont été examinées à nouveau en 1991. La restriction "le plus souvent" se justifie parce que certains sites explorés en 1981 sont maintenant dépourvus d'arbres, suite à des abattages pour des raisons diverses.

### 1- cartographie de la qualité de l'air en 1991.

On retrouve sur la carte établie en 1991, que les six zones définies à cette époque sont toujours présentes, mais que leur aspect a été modifié. Examinons la superficie et la disposition de ces six zones à l'heure actuelle. Toujours en partant du centre de la Région parisienne vers la périphérie, on peut faire les constatations suivantes:

+ la zone 1 (zone rouge) qui en 1981 occupait 47 mailles, soit 15% de l'ensemble, en comporte maintenant 20, soit 7%.

+ la deuxième zone (zone rose) est passée de 52 mailles (17%) à 32 mailles (10%).

+ la zone 3 de couleur bleu foncé, comportait 58 mailles (19%) en 1981, pour 36 (12%) en 1991.

+ la zone 4, représentée en bleu clair, par contre, s'est agrandie de 46 mailles (15%) à 88 mailles (28%).

+ la zone 5 (vert foncé) a aussi augmenté de 56 mailles (18%) à 93 mailles (30%).

+ la dernière zone, la moins polluée, montre peu de variations, avec une légère diminution de 49 mailles (16%) à 39 mailles (13%).

En considérant la superficie de ces différentes zones, on peut exprimer les résultats autrement et retenir que:

- les trois zones situées au centre, voient leur superficie diminuer respectivement de 8%, 7% et 7%, c'est-à-dire que la qualité de l'air s'est améliorée dans les environs immédiats de Paris.

- pour 119 mailles (39%) on a une diminution de la pollution globale, pour 143 mailles (46%) le niveau de la pollution n'est pas modifié, tandis que dans seulement 46 mailles soit 15%, la situation s'est dégradée.



Une interprétation rapide de ces résultats indique une amélioration de la qualité de l'air au centre de la Région parisienne, et une détérioration à la périphérie.

**Remarque:** signalons ici que le cas de la ville de Paris ne sera pas détaillé dans ce rapport préliminaire. Une étude plus précise, à grande échelle, est nécessaire pour interpréter l'amélioration récente de la pollution dans l'agglomération parisienne elle-même.

## 2- dépollution et recolonisation par les lichens.

L'observation de la végétation lichénique dans son ensemble traduit une baisse de la pollution atmosphérique globale dans la Région parisienne. Les modifications de la répartition des différentes espèces sensibles et tolérantes à la pollution, devraient apporter des précisions sur l'amélioration de la qualité de l'air.

### • colonisation par certaines espèces

Certaines espèces sont apparues dans un nombre important de mailles, et ont peu disparu par ailleurs. Nous citerons le *Xanthoria parietina* qui est apparu dans 56 mailles et est resté dans 180 mailles, pour ne disparaître que dans 26 mailles (bilan + 30 mailles). Il en est de même pour le *Physconia grisea* qui est apparu dans 73 mailles, resté dans 153 mailles et disparu dans 26 mailles seulement (bilan + 47 mailles). Le dépouillement des résultats n'est pas terminé, mais le bilan est aussi positif pour d'autres espèces comme *Physcia tenella*, *Physcia adscendens*, *Diploicia canescens*, *Candelariella vitellina* ou *Phaeophyscia orbicularis*. Pour ces espèces, la colonisation s'effectue en direction de Paris. Avant de discuter des causes éventuelles de cette colonisation et notamment du rôle de la **dépollution**, nous soulignerons le caractère fortement **nitrophile** de ces lichens.

### • recul de certaines espèces

D'autres espèces présentent un bilan négatif, c'est-à-dire qu'elles ont globalement disparu dans l'ensemble de la Région parisienne. Nous citerons le cas du *Ramalina farinacea*. Ce lichen n'a pas été revu dans 48 mailles où il était présent en 1981. Par contre, il s'est installé dans 11 nouvelles mailles et a été retrouvé dans 25 autres mailles. L'espèce voisine, *Ramalina fastigiata* a disparu dans 79 mailles pour apparaître dans 12 nouvelles mailles et survivre dans 62 d'entre elles. Enfin, on signalera le cas d'un lichen très sensible, *Anaptychia ciliaris* non revu dans 18 des 25 mailles repérées en 1981 et apparu nullement ailleurs. Le recul de ces lichens semble s'effectuer dans des auroles assez éloignées de Paris.

## INTERPRETATION DES RESULTATS

Il est prématuré de vouloir expliquer ces modifications de la flore lichénique, alors que toutes les données recueillies sur le terrain n'ont pas encore été exploitées. Cependant on peut affirmer dès maintenant, que **la pollution atmosphérique a globalement diminué, ces dix dernières années dans la Région parisienne.** L'observation des lichens indique, sans aucun doute, une amélioration globale de la qualité de l'air. On sera amené à nuancer cette affirmation en expliquant la disparition de plusieurs espèces à la périphérie de la zone étudiée.



## 1- baisse des émissions de polluants.

La diminution des émissions de polluants est une réalité en France, ces dernières années. Dans le cadre de la convention de Genève sur la pollution transfrontière à grande distance, trois protocoles concernant la réduction de l'émission de certains polluants (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COV) ont été signés par les états membres de la UN-CEE (Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies). En ce qui concerne le SO<sub>2</sub>, le protocole, confirmé à Helsinki en 1985, prévoyait que les émissions et les flux devraient être réduits de 30% avant 1993. La France, s'était quant à elle, engagée à réduire ses émissions de dioxyde de soufre de 50% entre 1980 et 1990.

D'après des données de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), les émissions de SO<sub>2</sub> en France, en 1991 ne représentaient plus que 52% des émissions de 1981. Il s'agit ici d'estimations. Les causes de cette réduction seraient les économies d'énergie, le développement d'énergies non fossiles (nucléaire, hydro-électricité, géothermie) et l'amélioration des technologies industrielles. Les chiffres indiquent que la baisse des émissions ne semble pas provenir de cette dernière possibilité.

## 2- amélioration globale de la qualité de l'air.

Il est indiscutable que la qualité de l'air s'est améliorée dans la Région parisienne ces dernières années. La lecture des résultats des mesures effectuées par divers organismes, et publiés par la société AIRPARIF, montre la généralité du phénomène. Il y a effectivement une baisse non négligeable de la pollution atmosphérique dans la Région parisienne. Cette baisse globale de la pollution semble être à l'origine de la recolonisation des arbres par les lichens.

L'analyse de la concordance entre ces deux types de données est en cours. C'est un travail important, car nous avons les résultats de tous les relevés effectués entre les années 1981 et 1991, et ceux réalisés avant 1981 pour les sites déjà retenus lors de la première étude dans la région. Seule une analyse minutieuse de ces résultats peut nous permettre d'établir éventuellement une corrélation entre la recolonisation par les lichens et l'amélioration de la qualité de l'air.

Il faut enfin nuancer ces observations, puisque si la pollution diminue au centre de la Région parisienne (Paris et la proche banlieue), elle semble augmenter en grande banlieue. On peut évoquer l'hypothèse d'un étalement du dôme de pollution, avec une baisse effective du taux de pollution au centre du dôme, et par réaction une augmentation de ce même taux à la périphérie (voir schéma p. 26). On peut aussi envisager une compensation de la réduction des émissions locales par une augmentation de la pollution transfrontière. Des études semblent montrer que ce type de pollution ne serait pas à négliger, ces dernières années. En étendant le travail effectué dans la Région parisienne au sens strict à toute l'Île de France, on pourra déterminer l'importance de cette zone où la qualité de l'air semble se dégrader. Les relevés de la végétation lichénique sont actuellement en cours dans la périphérie de l'Île de France et les résultats seront pris en compte dans le rapport définitif.

## CONCLUSION

La végétation lichénique a subi des variations importantes, dans la Région parisienne, entre 1981 et 1991. Dans l'ensemble, il y a une recolonisation des arbres isolés par les lichens, en direction de Paris. Il ne s'agit pas d'un phénomène localisé à quelques stations isolées, mais d'une recolonisation générale de grande ampleur. Cette recolonisation récente est probablement liée à la réduction des émissions de dioxyde de soufre, même si l'apport transfrontière n'est pas négligeable.

Parmi les espèces "colonisatrices", on rencontre un certain nombre d'espèces nitrophiles. Il n'est pas impossible que leur installation puisse s'expliquer par une augmentation de la pollution azotée. Une étude approfondie, actuellement en cours, devrait apporter des précisions sur cet aspect. Rappelons que nous avons un stock considérable de données, avec des relevés effectués rigoureusement sur les mêmes sites, à dix ans d'intervalle, ce qui est exceptionnel.

Nous signalerons également que quelques observations concernant les modifications de la végétation lichénique, suite à un phénomène de dépollution, ont déjà été réalisées. Il s'agit, de recolonisation par les lichens après la fermeture d'une usine en Suède (SKYE et HALLBERG, 1969) ou dans la région de Maubeuge (DELZENNE-VAN HALUWYN, 1973). De même BEDENEAU (1981) parle de "reconquête" de zones importantes par les lichens en forêt de Roumare (Normandie), après une réduction de l'émission des polluants. La dépollution qui semble se généraliser en Europe facilite la multiplication des travaux de cette nature. Nous citerons aussi les publications de HENDERSON-SELLERS et SEAWARD (1979), de (HAWKSWORTH et MAC MANUS (1989), de SEAWARD (1989), et plus récemment les observations faites dans Paris (LETROUIT-GALINOÛ *et al.*, 1992).

Enfin, la question se pose de savoir quelle est l'hystérésis de réponse des peuplements lichéniques à une amélioration de la qualité de l'air. Avec quel retard, va s'effectuer la restauration de la végétation lichénique, en phase de dépollution? Certains auteurs avancent un délai de six mois, d'autres de trois ans. En fait, le problème n'est pas résolu. Une réflexion de BEGUINOT (1992) souligne que la restauration du couvert lichénique, en phase de dépollution est liée à plusieurs facteurs. Cet auteur fait intervenir l'importance des conditions environnementales antérieures à la période de dépollution, la sensibilité des différentes espèces de lichens et le rôle de la végétation lichénique des régions voisines (existence de réserves de diaspores). Il signale également l'effet de la compétition entre ces espèces qui peut modifier la vitesse de recolonisation. On peut rapprocher ces remarques de l'existence des "sauts de zone" observés par les auteurs anglais (HAWKSWORTH et Mc MANUS, 1989). Il semblerait, en effet, que la recolonisation ne suive pas rigoureusement l'échelle de toxisensibilité des lichens, échelle qui a été établie dans le cas d'une détérioration de la qualité de l'air.

Si plusieurs problèmes restent posés en ce qui concerne l'effet de la dépollution sur la recolonisation des lichens, il est indiscutable que ceux-ci réagissent à une amélioration de la qualité de l'air. Les modifications intervenues dans la Région parisienne entre 1981 et 1991 sont des modifications importantes. Elles indiquent, sans aucun doute, une diminution de la pollution acide. Les recherches qui se poursuivent aboutiront à la réalisation prochaine d'une carte de toute l'Île de France, avec l'état de la qualité de l'air en 1992.

## BIBLIOGRAPHIE

- BEDENEAU M., 1981- Réaction des épiphytes à l'évolution de la pollution atmosphérique d'une forêt. Comparaison de deux cartographies à quatre ans d'intervalle. *Revue forestière française*, 28, 4, 293-296.
- BEGUINOT J., 1992- Une des causes fondamentales de l'hystérésis de réponse des peuplements lichéniques à la pollution. *Bull. Inform. Ass. Fr. Lichénologie, Mémoires*, 1, 69-72.
- DELZENNE-VAN HALUWYN C., 1973- Contribution à l'étude de la distribution des lichens épiphytes dans le Nord de la France: application au problème de la pollution atmosphérique. Thèse de Doctotat d'Etat Pharmacie, Lille, 162p.
- DERUELLE S., 1977- Influence de la pollution atmosphérique sur la végétation lichénique des arbres isolés dans la région de Mantes (Yvelines). *Rev. Bryol. Lichénol.*, 43, 2, 137-158.
- DERUELLE S., 1978 a- Les lichens et la pollution atmosphérique. *Bull. Ecol.*, 9, 2, 87-128.
- DERUELLE S., 1978 b- Etude comparée de la sensibilité de trois méthodes d'estimation de la pollution atmosphérique, en utilisant les lichens comme indicateurs biologiques dans la région de Mantes (Yvelines). *Rev. Bryol. Lichénol.*, 44, 4, 429-441.
- DERUELLE S., 1981- Effets de la pollution atmosphérique sur la végétation lichénique dans le Bassin Parisien. Rapport final de la Convention de Recherche N° 79-15. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Paris, 112p.
- DERUELLE S., 1983- Ecologie des lichens du Bassin Parisien. Impact de la pollution atmosphérique (engrais, SO<sub>2</sub>, Pb) et relations avec les facteurs climatiques. Thèse de Doctotat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 356p. et annexe 202p.
- DE SLOOVER J., 1964- Végétaux épiphytes et pollution de l'air. *Rev. Quest. Scientif.*, 25, 531-561.
- HAWKSWORTH D.L. et Mc MANUS P.M., 1989- Lichens recolonization in London under conditions of rapidly falling sulphur dioxide levels, and the concept of zone skipping. *Bot. J. Linn. Soc.*, 100, 99-109.
- HAWKSWORTH D.L. et ROSE F., 1970- Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227, 145-148.
- HENDERSON- SELLERS A. et SEAWARD M.R.D., 1979- Monitoring lichen reinvasion of ameliorating environments. *Environ. Pollut.*, 19, 207-213.
- LEBLANC F. et DE SLOOVER J., 1970- Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Can. J. Bot.*, 48, 1485-1496.
- LEROND M., 1978- Courbes d'isopollution de la région de Rouen obtenues par l'observation des lichens épiphytes. *Bull. Soc. linn. Normandie*, 106, 73-83.

LEROND M., 1979- Courbes d'isopollution de la région du Havre et de l'estuaire de la Seine obtenues par l'observation des lichens épiphytes. *Actes Mus. Rouen*, 2, 17-23.

LEROND M., 1981- Les lichens épiphytes en Normandie orientale. Distribution, sociologie et application à la cartographie de la pollution atmosphérique. *Actes Mus. Rouen*, 1 et 2, 300p.

LETROUIT- GALINOU M.A., SEAWARD M.R.D. et DERUELLE S., 1992- A propos du retour des lichens épiphytes dans le Jardin du Luxembourg (Paris). *Bull. Soc. bot. Fr.*, 139, *Lettres bot.*, 115-126.

SEAWARD M.R.D., 1989- Lichens as monitors of recent changes in air pollution. *Plants Today*, 2, 64-69.

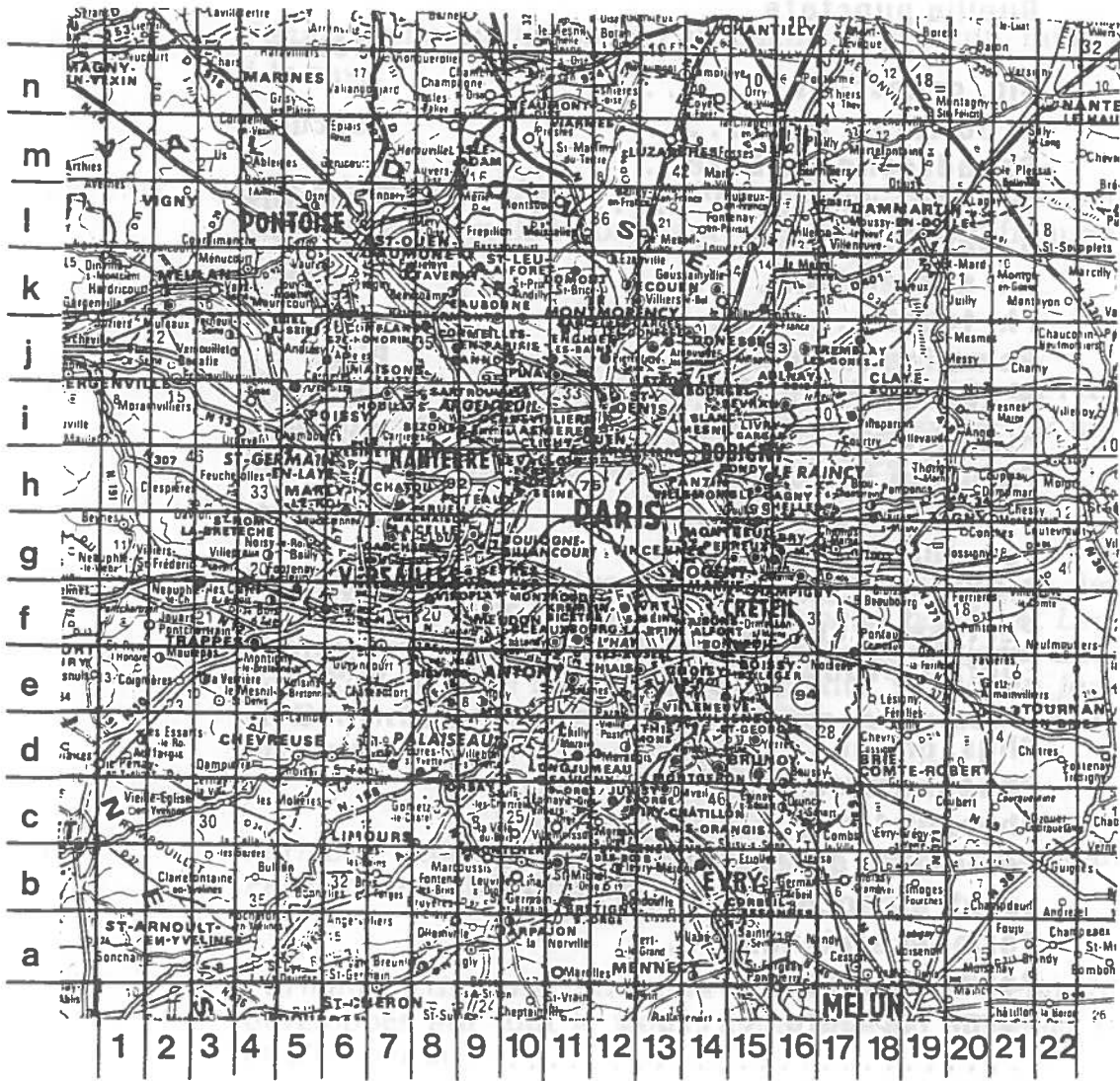
SKYE E. et HALLBERG I., 1969- Changes in the lichen flora following air pollution. *Oikos*, 20, 547-552.

VAN HALUWYN C. et LEROND M., 1986- Application d'une nouvelle méthodologie à la cartographie de la pollution atmosphérique de la moitié nord de la France. Rapport final du contrat N°82. Ministère de l'Environnement et de la Recherche, 130p.

VAN HALUWYN C., ASTA J., BEGUINOT J., BOTINEAU M., DERUELLE S., LEROND M. et ROUX C., 1986- Lichens et environnement. Quelques travaux français depuis 1970. *Bull. Soc. bot. Fr.*, 133, *Actual. bot.*, 2, 81-112.

## ANNEXE

Les pages suivantes, numérotées de 35 à 42, présentent des documents annexes, avec notamment des cartes de répartition de quelques espèces et deux cartes en couleur de la pollution estimée en 1981 et 1991.



10 km

## FICHE DE RELEVES

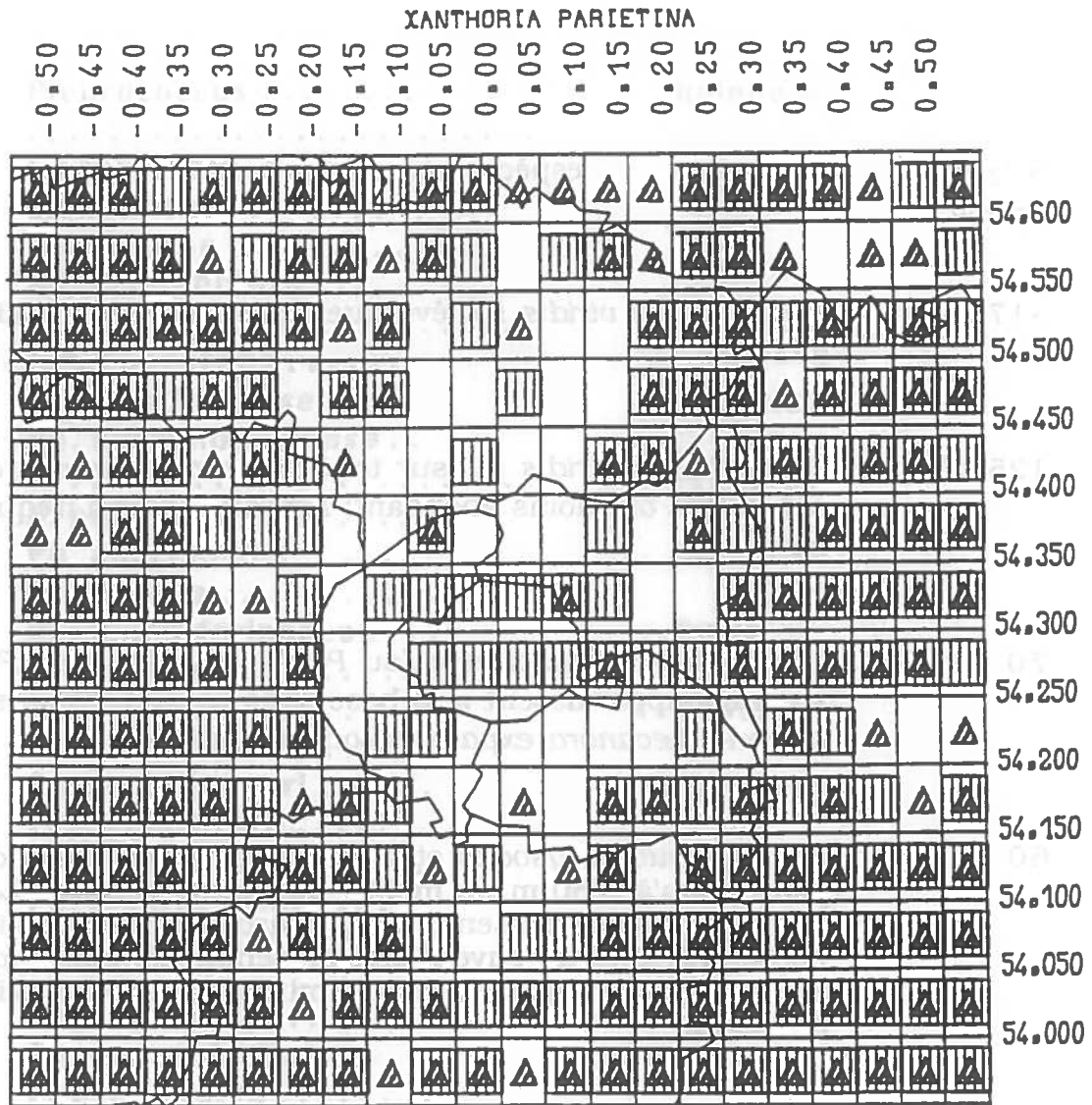
<b>Pleurococcus</b> .....	<b>Relevé N°</b>
.....	
<b>L.conizaeoides</b> .....	<b>Date</b>
<b>L.expallens</b> .....	
<b>Lep. incana</b> .....	<b>Lieu</b>
<b>Buellia punctata</b> .....	
.....	<b>Acer ...</b>
<b>Dip. canescens</b> .....	
<b>X. parietina base</b> .....	<b>Aesculus</b>
<b>Ph. adscendens base</b> ..	
.....	<b>Fraxinus</b>
<b>X. parietina</b> .....	
<b>Ph. adscendens</b> .....	<b>Malus</b>
<b>Ph. tenella</b> .....	
<b>Ramalina farinacea</b> ....	<b>Pirus</b>
<b>X. candelaria</b> .....	
<b>H. physodes</b> .....	<b>Populus</b>
<b>Parmelia sulcata</b> .....	
<b>Parmelia borreri</b> .....	<b>Quercus</b>
<b>Lec. chlorotera</b> .....	
<b>Chrys. candelaris</b> .....	<b>Tilia</b>
<b>Pertusaria amara</b> .....	
<b>Evernia prunastri</b> .....	<b>Ulmus</b>
.....	
<b>Phys. grisea</b> .....	
<b>Phaeo. orbicularis</b> .....	
<b>Phys. distorta</b> .....	
<b>Pertusaria albescens</b> ...	
<b>Lecid. elaeochroma</b> ....	
<b>Parm. acetabulum</b> .....	
<b>Parm. tiliacea</b> .....	
<b>Parm. revoluta</b> .....	
.....	
<b>Parm. caperata</b> .....	
<b>Parm. subaurifera</b> .....	
<b>Ram. fastigiata</b> .....	
<b>Anaptychia ciliaris</b> .....	
.....	
<b>Ph. aipolia</b> .....	
<b>Parmelia perlata</b> .....	
<b>A. ciliaris fructifié</b> .....	
<b>Ramalina fraxinea</b> .....	

**Modèle d'une fiche de relevé.**

SO <sub>2</sub> en µg/m <sup>3</sup>	espèces caractéristiques
>170	<i>Pleurococcus viridis</i> s.l. éventuellement présent, mais limité à la base.
125-150	<i>Pleurococcus viridis</i> s.l. sur tout le tronc; <i>Lecanora conizaeoides</i> plus ou moins abondant; <i>Lepraria incana</i> fréquent à la base.
70	<i>Hypogymnia physodes</i> et/ou <i>Parmelia sulcata</i> ou <i>Parmelia saxatilis</i> apparaissent à la base sans se développer sur tout le tronc; <i>Lecanora expallens</i> souvent présent.
60	<i>Hypogymnia physodes</i> et/ou <i>Parmelia sulcata</i> se développent jusqu'à 2,50 m au moins; <i>Parmelia borrieri</i> et <i>Lecanora chlarotera</i> apparaissent; <i>Chrysothrix candelaris</i> ainsi que <i>Pertusaria amara</i> peuvent être présents; <i>Ramalina farinacea</i> et <i>Evernia prunastri</i> sont limités à la base s'ils sont présents.
50	<i>Parmelia caperata</i> présent au moins à la base; abondance de <i>Pertusaria</i> et de <i>Parmelia</i> .
<40	<i>Parmelia caperata</i> , <i>Parmelia revoluta</i> et <i>Parmelia tiliacea</i> développés sur tout le tronc; apparition de <i>Parmelia perlata</i> et d' <i>Usnea</i> sp.

**Echelle qualitative pour l'estimation de la pollution acide hivernale, dans la Région Parisienne, avec les lichens épiphytes des arbres à écorce non eutrophisée (Populus, Fraxinus); d'après HAWKSWORTH et ROSE, 1970, modifié.**





**Répartition géographique de Xanthoria parietina**

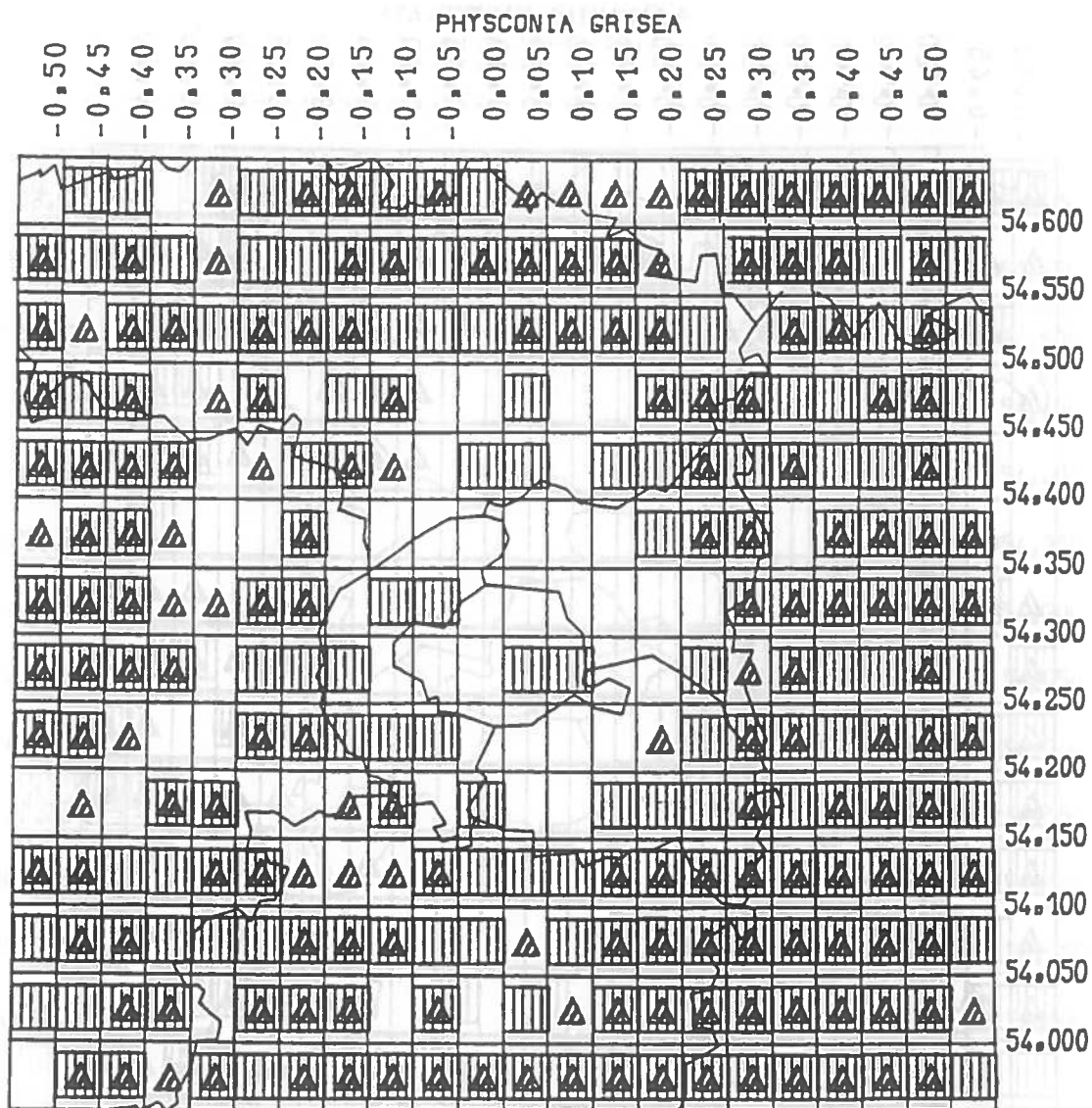
espèce présente en 1981



espèce présente en 1991







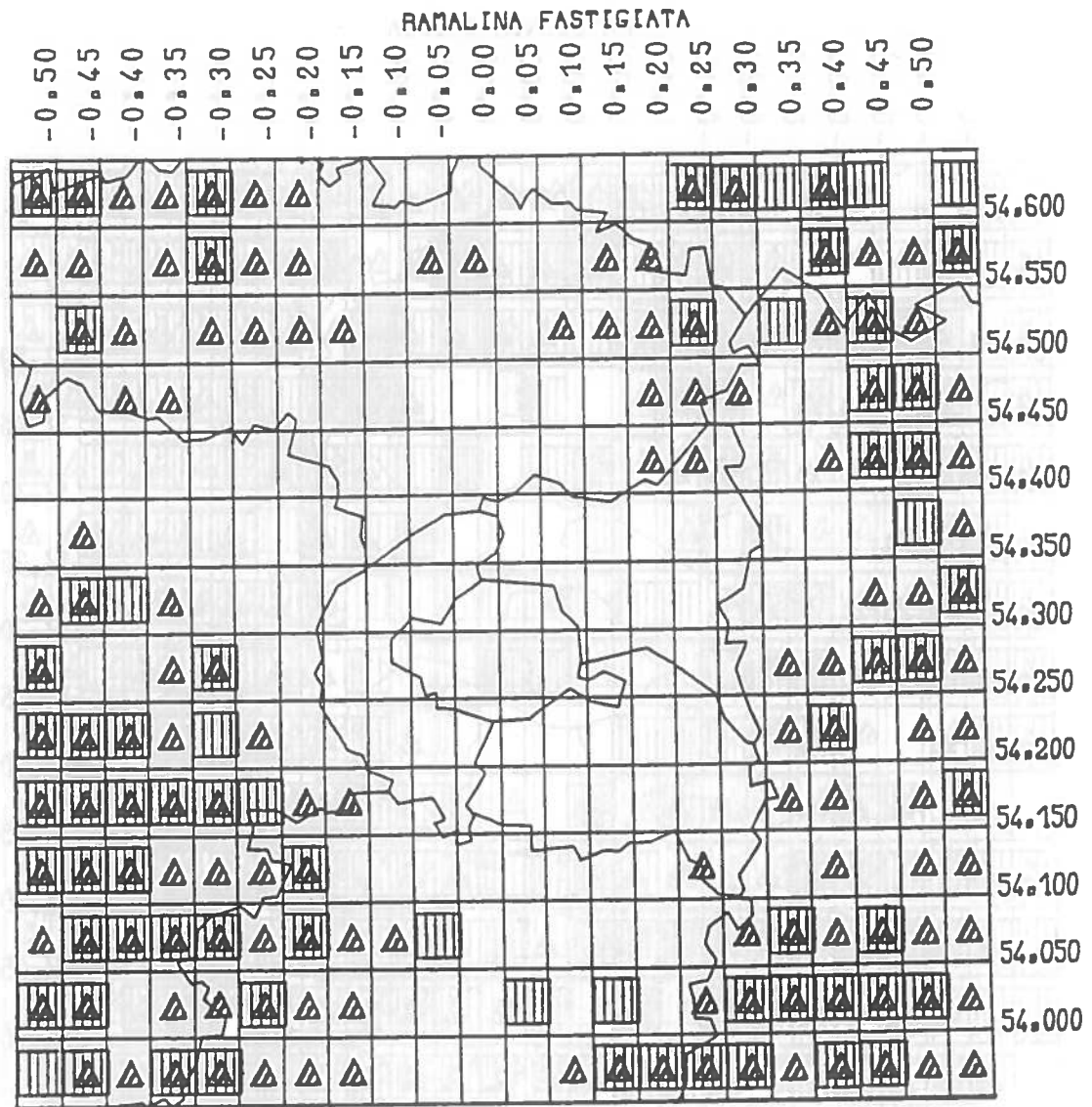
**Répartition géographique de *Physconia grisea***

espèce présente en 1981



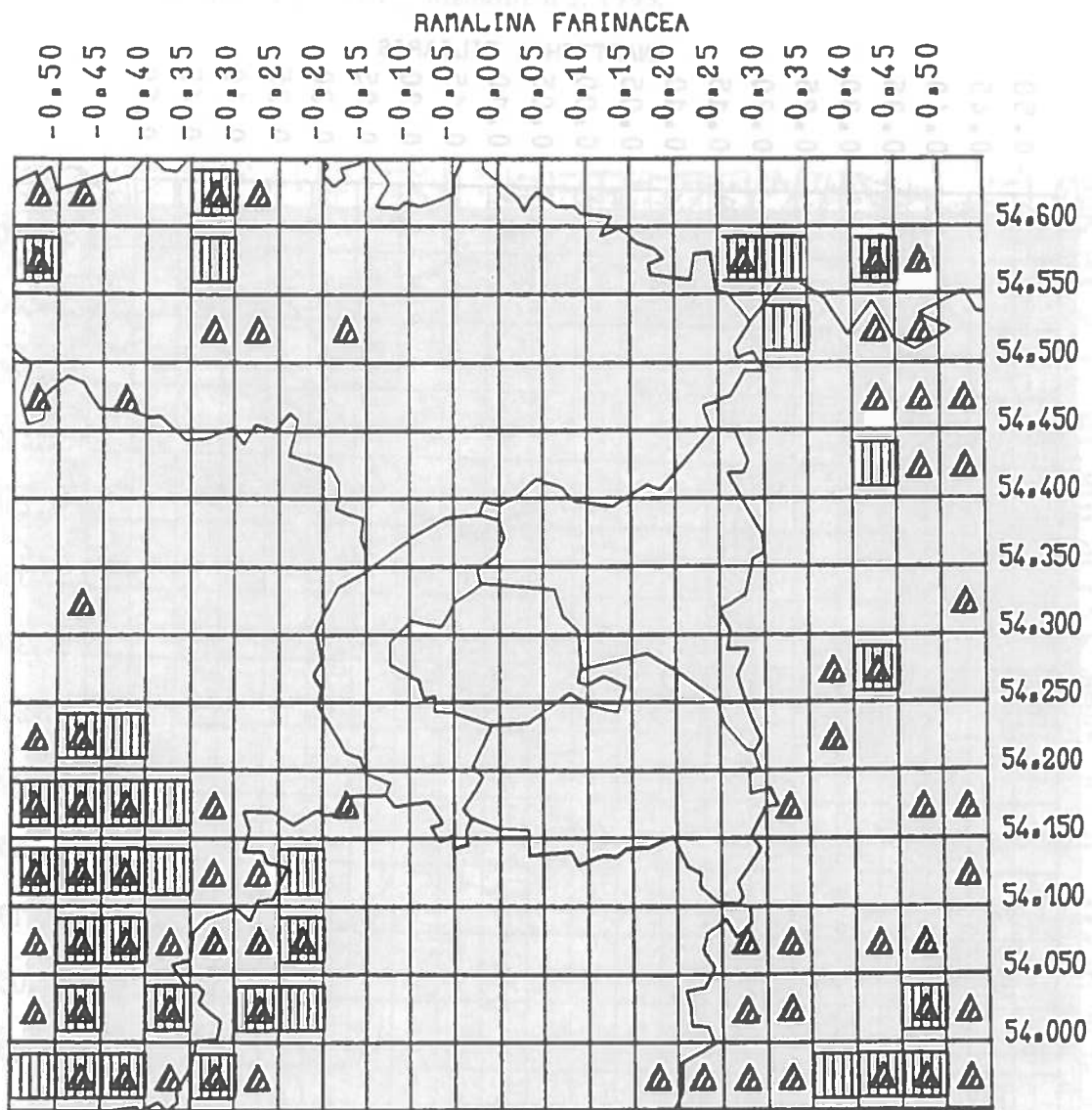
espèce présente en 1991





**Répartition géographique de *Ramalina fastigiata***

<p>espèce présente en 1981</p> <p>espèce présente en 1991</p>	 
---------------------------------------------------------------	------



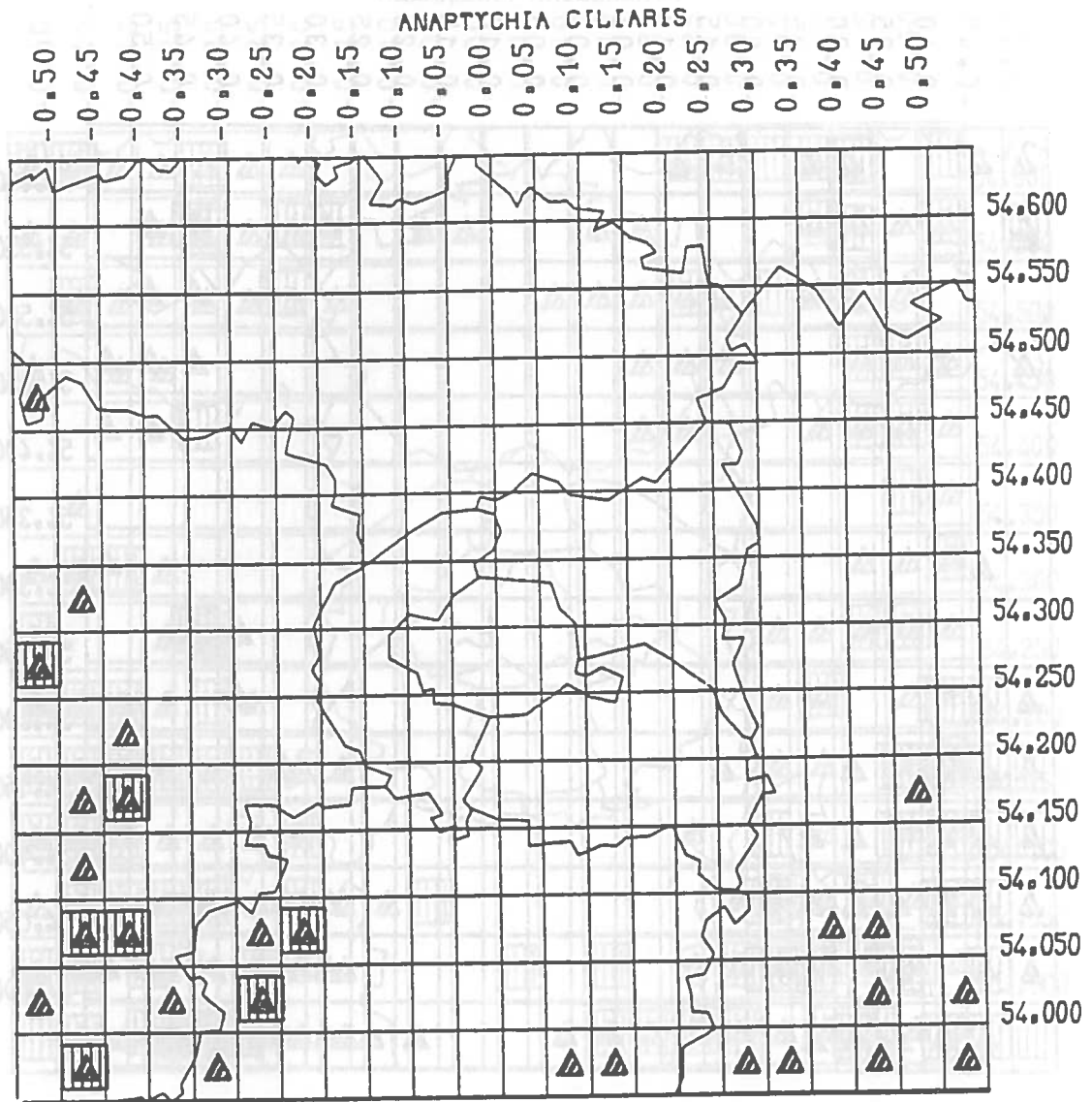
**Répartition géographique de Ramalina farinacea**

espèce présente en 1981



espèce présente en 1991





**Répartition géographique de *Anaptychia ciliaris***

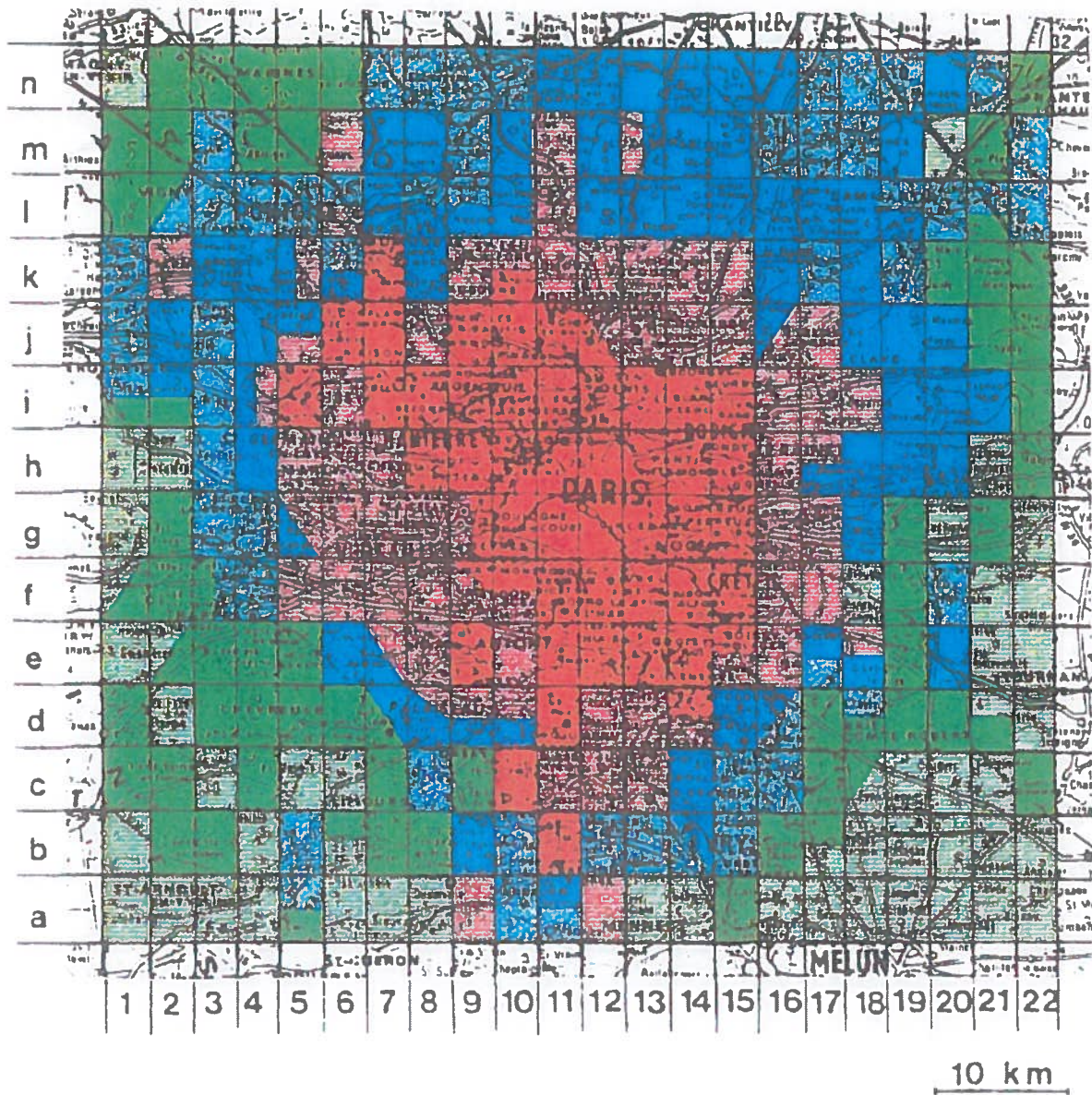
espèce présente en 1981



espèce présente en 1991



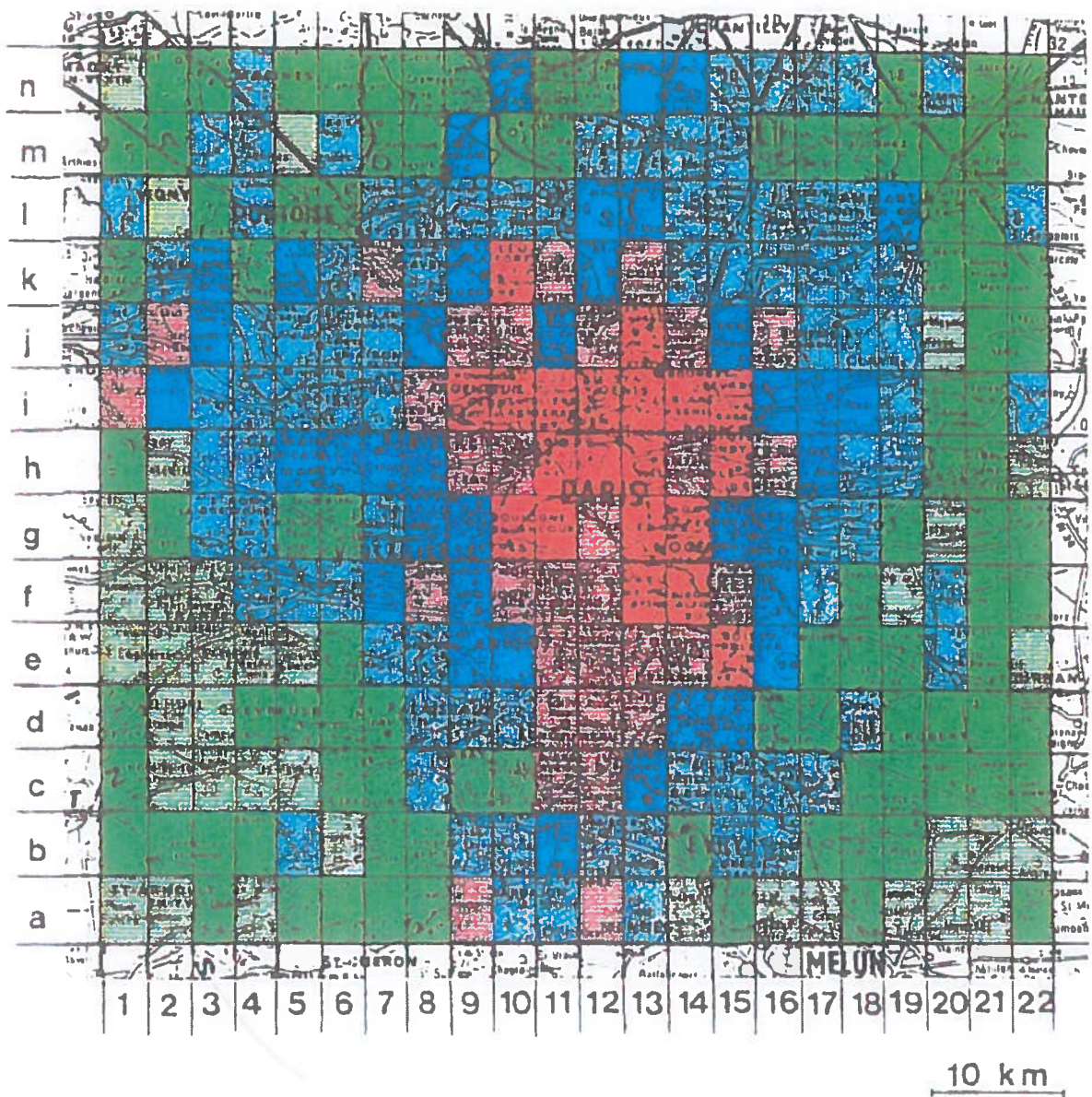





**Carte de la pollution atmosphérique acide dans la Région Parisienne, obtenue à partir de l'observation de la végétation lichénique, en 1981.**

- |                                                                                                                             |                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Zone 1 ( $> 170 \mu\text{g.m}^{-3}$ )   |  Zone 4 ( $70-60 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) |
|  Zone 2 ( $170-125 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) |  Zone 5 ( $60-50 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) |
|  Zone 3 ( $125-70 \mu\text{g.m}^{-3}$ )  |  Zone 6 ( $<50 \mu\text{g.m}^{-3}$ )   |





**Carte de la pollution atmosphérique acide dans la Région Parisienne, obtenue à partir de l'observation de la végétation lichénique, en 1991.**

- |                                                                                                                             |                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Zone 1 ( $> 170 \mu\text{g.m}^{-3}$ )   |  Zone 4 ( $70-60 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) |
|  Zone 2 ( $170-125 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) |  Zone 5 ( $60-50 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) |
|  Zone 3 ( $125-70 \mu\text{g.m}^{-3}$ )  |  Zone 6 ( $< 50 \mu\text{g.m}^{-3}$ )  |



# RECOLONISATION PAR LES LICHENS DES ARBRES DE PARIS

par France FREDON, Marie-Agnès LETROUIT-GALINOU et Monique AVNAIM.

Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de Cryptogamie, Case 33  
7 Quai St Bernard 75252 PARIS CEDEX 05

## INTRODUCTION

Dans une publication de 1866, William Nylander, éminent lichénologue, établit le premier une relation entre végétation lichénique et qualité de l'air. Dans un contexte de forte pollution, ses travaux mettent en évidence la disparition complète des lichens corticoles à Paris, à l'exception de 18 espèces dénombrées dans le Jardin du Luxembourg.

30 ans plus tard (1896), il lance un cri d'alarme : seule, l'algue *Pleurococcus viridis* subsiste dans ce coin réputé le plus sain de Paris !

Il faudra attendre un demi-siècle pour que l'on signale la réapparition des lichens, d'abord *Lecanora dispersa* (= *L. hagenii*) (Bouly De Lesdain, 1948), espèce coniophile, sur une racine au ras du sol, suivi en 1981 par *Lecanora conizaeoides*, espèce fortement poléotolérante (Déruelle, 1983).

Comme de nombreuses études l'ont démontré, la disparition des lichens corticoles aux alentours des zones urbaines et industrielles dans la zone tempérée de l'hémisphère N à partir du 19ème siècle était liée à l'augmentation du taux de SO<sub>2</sub> dans l'air, conséquence de l'utilisation massive de combustibles fossiles, riches en S (charbon, gaz, pétrole). A la suite d'incidents mortels en Angleterre et d'atteintes graves des écosystèmes boréaux (lacs, forêts de conifères), des mesures de limitation des émissions ont été prises dans la plupart des pays industrialisés (dès 1958 en Grande-Bretagne). Simultanément, des programmes de recherche ont été lancés pour connaître l'effet de la pollution atmosphérique sur l'environnement et des méthodes d'évaluation de celle-ci, utilisant les lichens comme bioindicateurs, ont été mises au point par Hawksworth et Rose (1970), Leblanc. et De Sloover (1970) ainsi que par Van Haluwyn et Lerond (1986). S'ajoutant à l'effet de la réglementation, la diminution du rôle du charbon dans la production d'énergie a accéléré cette réduction des émissions. L'amélioration de la qualité de l'air qui a suivi, s'est accompagnée du retour progressif des lichens (Rose et Hawksworth, 1981). Ce retour est caractérisé d'une part, par *un temps de latence*, estimé à environ 4 ans (Henderson-Sellers et Seaward, 1979, Belandria et Asta, 1986), entre le moment où le taux de SO<sub>2</sub> dans l'air devient compatible avec la présence du lichen et l'observation de celui-ci et d'autre part par un certain désordre dans leur ordre d'apparition, certains lichens sensibles à la pollution réapparaissant avant d'autres plus poléotolérants (Hawksworth et Mc Manus (1989). Ceci a conduit des chercheurs à s'interroger sur la validité, en période de diminution rapide de la pollution, des échelles d'estimation existantes. Ce point sera examiné plus loin.

Enfin, en 1990, 11 espèces corticoles sont signalées dans le jardin du Luxembourg attestant que la recolonisation par les lichens des arbres de la capitale a enfin commencé. Parmi ces espèces, plusieurs petits foliacés attirent d'autant plus l'attention qu'ils sont considérés dans les échelles de

bioestimation comme des lichens relativement sensibles à la pollution (Seaward et Letrouit-Galinou, 1991; Letrouit-Galinou *et al.*, 1992). Cette réapparition des lichens est attribuable à la diminution du taux de SO<sub>2</sub> dans l'air parisien depuis en particulier les années 1980 (Fig. 1).

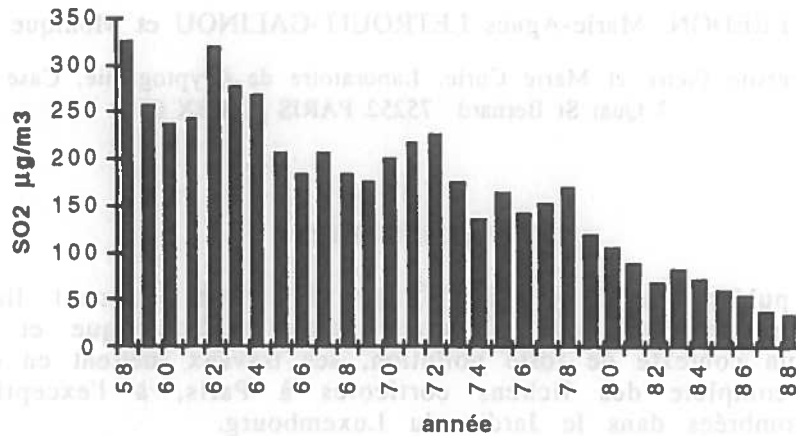


Fig. 1. Evolution du taux de SO<sub>2</sub> dans l'air à Paris entre 1958 et 1988, exprimé en moyenne hivernale et en µg. m<sup>-3</sup> (données de l'Agence pour la qualité de l'air). Noter que ce n'est qu'aux alentours de 1973 que ce taux est devenu compatible avec la présence de *Lecanora conizaeoides* (170 µg. m<sup>-3</sup>) et en 1986 avec celle des espèces de la zone 5 (60 µg. m<sup>-3</sup>) (Déruelle, 1983).

Comme suite à ces observations, il a paru intéressant d'élargir les recherches à tout Paris, afin de comparer la situation dans les différents arrondissements et en espérant en tirer quelques enseignements concernant la qualité de l'air dans la capitale.

#### METHODES

Deux objectifs ont guidé le choix des méthodes, d'abord, intégrer les résultats à l'étude conduite au même moment par Déruelle et Guilloux en Ile de France (1993) en les comparant aux résultats antérieurs de Déruelle (1983), ensuite décrire au plus près la variabilité de la végétation lichénique des arbres de Paris. En conséquence, parmi les méthodes de la bioindication lichénique, a été retenue celle de la bioestimation : échelle de Hawksworth et Rose (1970) modifiée par Déruelle (1983) et la représentation cartographique par maillage, mais avec certaines adaptations nécessaires à l'étude d'une métropole.

**Zone étudiée** : Il s'agit de Paris au sens administratif, c'est-à-dire y compris les Bois de Boulogne et de Vincennes.

**Maillage** : Le quadrillage utilisé pour l'Ile de France (maille rectangulaire de 0,5 gr), a été pris pour base, mais chaque maille a été divisée en quatre (maille de 0,25 gr, soit 1,650 km (sens latitudinal) sur 2,750 km (sens longitudinal), cette superficie paraissant mieux adaptée à la diversité des milieux parisiens. Ceci donne 34 mailles dont 33 ont été étudiées.

**Milieux et sites** : Pour tenir compte de la variabilité de l'environnement dans lequel sont placés les arbres à Paris, nous avons distingué 5 milieux types, 3 pour les sites urbains et 2 pour les milieux forestiers :

-*milieu a* : arbres d'alignement des rues et places ; ce milieu est caractérisé par la proximité des bâtiments et de la circulation automobile.

-*milieu b* : arbres situés sur les pelouses des parcs et jardins ; ce milieu est caractérisé par la présence d'herbe au pied (qui entretient une certaine humidité), des arrosages fréquents et des apports d'engrais.

-*milieu c* : arbres des allées sablonneuses des squares, parcs et jardins.

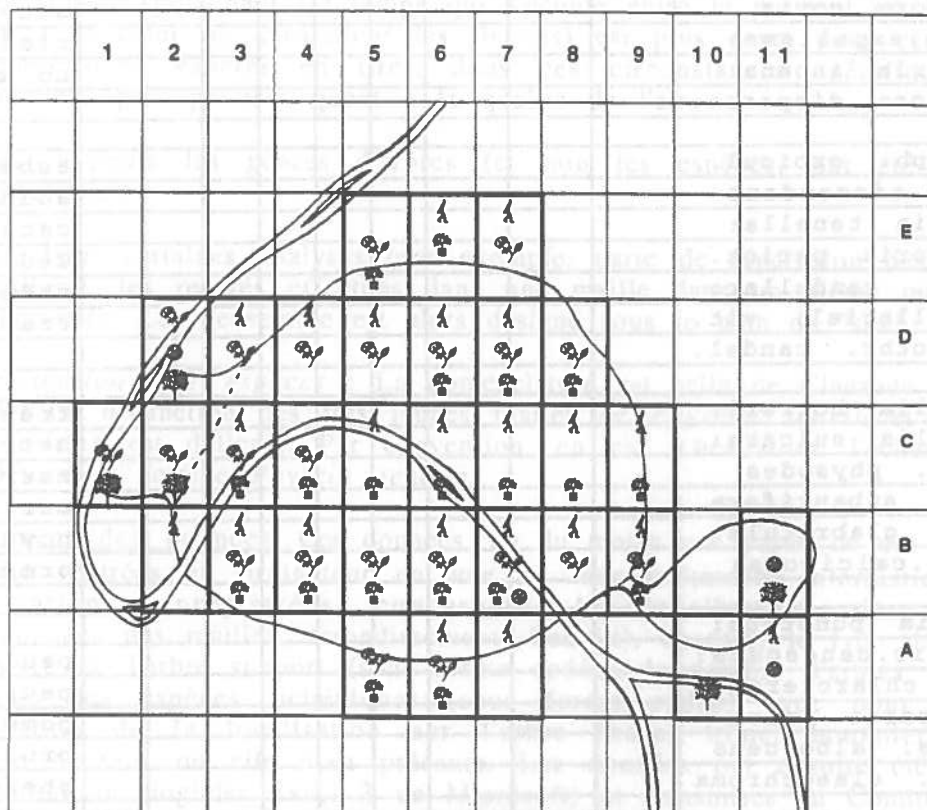


Fig. 2 - Milieux étudiés dans chaque maille.

a = Alignement : rues, places (a); b = Jardins : pelouse (b);  
 c = Jardins : allée (c); d = Bois : clairière (d); e = Bois : sous-bois (e)

-*milieu d* : milieu forestier ouvert de type clairière (herbe au pied des arbres, mais ni arrosage, ni engrais).

-*milieu e* : arbres des sous-bois (faible luminosité, taux hygrométrique relativement élevé)

Dans chaque maille, ont été étudiés le plus grand nombre possible de ces milieux (Fig. 2).

**Relevés** : Un relevé est la liste des espèces présentes, en un lieu donné, sur les troncs d'un groupe d'arbres (si possible 10), d'au moins 20 cm de diamètre et généralement de même espèce (Déruelle 1977 et 1983). Sur la fiche de relevé (fig. 3), sont portées d'autres indications importantes pour l'interprétation ultérieure des observations (orientation, partie du tronc où l'espèce est

RELEVES PARIS

Rue lieu dit Ardt  
 Maille: long. lat. date  
 B=base ou arbre penché; F=fût; H=embranch; N=nb d'arbres où l'espece est présente; R= recouvrement; o= orient; !=fertile;D= taille maximale

Lichens	B	F	H	N	R	O	I	D	rue
									jardin
Pleurococcus vir.									allée
Scolisc. chloroc.									pelouse
Lecanora coniz.									sous-bois
Lecan.expallens:									clairière
Lepraria incana:									nb arbres
Lecanora dispersa:									
Phaeoph. orbicul.									aubép.
Physc.adscendens:									aulne
Physcia tenella:									catalpa
Xanthoria pariet.									Cedrelas
Xanth. candellar:									chêne
Candellariel. vit.									érable
Chrysothr. candel.									
Parmelia borrieri:									frêne
Parmelia sulcata:									hetre
Hypog. physodes									marron.
Parm. subaurifera									murier
Parm. glabratula									noyer
Xanth.calcicola:									orme
Buellia punctata:									paulown.
Diploic.canescens:									peuplier
Lec. chlarotera									pommier
Pertusaria amara									prunier
Pertus. albescens									pterocar.
Lecid. elaeochroma									
Phys. grisea									
Phys. distorta									
Ph. aipolia									
Parm. revoluta									sophoras
Parm. caperata									sorbiers
Parmelia perlata									tilleul
Parm. acetabulum									
Parm. tiliacea									
Evernia prunastri									
Ramalina farinacea									
Ram. fastigiata									
Anaptych.ciliaris									
Ramalina fraxinea									

Fig. 3 - Modèle de fiche de relevé

l'espèce est présente -base, tronc, embranchement-, inclinaison du tronc, nombre d'arbres sur lesquels l'espèce est présente, taille maximale, densité ).

*Arbres inclinés* : La plupart des auteurs recommandent de n'étudier que les arbres au tronc bien droit et offrant de ce fait aux lichens des conditions écologiques comparables. Cependant, dans le présent travail, qui avait pour but de suivre le retour des lichens dans la capitale, *l'étude des arbres inclinés a été incluse* : en effet, il est établi qu'au moment d'une baisse de la pollution atmosphérique, les lichens reviennent d'abord à la base des arbres ou sur le tronc des arbres inclinés, ce qui indique que le phénomène de latence signalé plus haut (le temps qui s'écoule entre le moment où baisse la pollution et celui où s'installent les lichens) est plus court pour ces arbres. On peut donc espérer en tirer, dans ces circonstances spécifiques, des informations plus précises quant à la qualité de l'air.

*Arbres* : Seuls les genres d'arbres (et non les espèces) ont été pris en considération.

*Sites* : Pour certaines analyses (par exemple, carte de répartition des espèces par milieu), les relevés effectués dans une maille dans un même milieu ont été regroupés. Leur ensemble est alors désigné sous le nom de "site".

*Détermination des espèces* : La nomenclature est celle de Clauzade et Roux (1985). La distinction des très jeunes thalles de *Physcia tenella* et *Physcia adscendens* est délicate. Par convention, en cas d'hésitation, l'échantillon a été déterminé comme *Physcia tenella*.

Traitement des données: Ces données, ou du moins une partie de ces données, ont été rentrées en ordinateur en vue de leur traitement informatique. Les informations enregistrées concernent la localisation des relevés (coordonnées des mailles, arrondissement, lieu-dit), la date, le type de milieu, la nature de l'arbre support (sous forme codée), le nombre d'arbres observés, la liste des espèces lichéniques (sous forme codée) avec pour chacune l'indication de la localisation sur l'arbre (base, tronc, houppier) et le nombre d'arbres où elle était présente. Les données ont ensuite été traitées au laboratoire (logiciel Excel 3 de Microsoft) et transmises au Comité Faune-Flore en vue de leur intégration dans celles de l'Ile de France et dans l'Atlas en cours des Lichens de France. Des cartes de répartition des espèces ont été établies.

Estimation de la pollution à partir de la végétation lichénique : Comme il a été dit plus haut, la validité, pendant une période de diminution rapide de la pollution, des méthodes d'estimation mises au point pendant une période de pollution stable a été fortement mise en cause. Dans le chapitre suivant (Résultats), nous proposons une échelle inspirée des échelles de sensibilité existantes, mais adaptée à la période de recolonisation des troncs par les lichens.

## RESULTATS

Arbres : 1118 arbres appartenant à 27 genres ont été étudiés. Il s'agit de : *Acacia, Acer, Aesculus, Alnus, Betula, Broussonetia, Carpinus, Catalpa, Cedrelas, Cercis, Fraxinus, Fagus, Gingko, Juglans, Koelreuteria, Liriodendron, Pinus, Paulownia, Platanus, Populus, Prunus, Pterocarya, Quercus, Salix, Sophora, Tilia Ulmus.*

**Relevés** : 202 relevés ont été effectués avec un nombre moyen de 5,5 arbres par relevé. Les relevés effectués dans une maille dans un même milieu ont été regroupés sous le nom de "site". On relève de la sorte 23 sites pour le milieu *a*, 22 pour le milieu *b*, 20 pour le milieu *c*, 4 pour le milieu *d* et 5 pour le milieu *e* (Fig. 2).

	M	R	E	ZP	NB
<b>Lichens</b>					
<i>Buellia punctata</i>	c			2	2
<i>Caloplaca citrina</i>	c		n		1
<i>Candelaria concolor</i>	sq		n		3
<i>Candelariella aurella</i>	sq				3
<i>Candelariella vitellina</i>	sq		n		4
<i>Cladonia sp.</i>	f/fr	so			3
<i>Diploicia canescens</i>	c	so		3	1
<i>Evernia prunastri</i>	fr	so		4	3
<i>Hypogymnia physodes</i>	f	so		4	5
<i>Lecanora chlarotera</i>	c			4	2
<i>Lecanora conizaeoides</i>	cp			2	29
<i>Lecanora dispersa</i>	c		s		25
<i>Lecanora incana</i>	cp			2	14
<i>Lecanora muralis</i>	c		s		4
<i>Normandina pulchella</i>	sq	so			1
<i>Opegrapha rufescens</i>	c				1
<i>Opegrapha vermicellifera</i>	c				1
<i>Parmelia borrieri</i>	f	so		4	5
<i>Parmelia revoluta</i>	f	so		5	1
<i>Parmelia subaurifera</i>	f	so		6	2
<i>Parmelia sulcata</i>	f	so		4	5
<i>Pertusaria albescens</i>	c	so		5	1
<i>Pertusaria amara</i>	c	so		4	1
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	f	so	n-s	5	18
<i>Physcia adscendens</i>	f	so	n	3/4	19
<i>Physcia stellaris</i>	f	so	n		2
<i>Physcia tenella</i>	f	so	n	4	22
<i>Physconia grisea</i>	f	so	n	5	6
<i>Xanthoria candelaria</i>	f	so	n		4
<i>Xanthoria parietina ssp. calcicola</i>	f	so	n-s		1
<i>Xanthoria parietina ssp. parietina</i>	f		n	3/4	17
<b>Algue</b>					
<i>Pleurococcus viridis</i>	cp			1	32
<i>Pleurococcus viridis</i> + champignon	cp				32

Tab. 1 - Liste des épiphytes corticoles étudiés et quelques unes de leurs caractéristiques morphologiques et écologiques

M : Caractères morphologiques - c : thalle crustacé, lisse - cp : thalle crustacé, pulvérulent - f : thalle foliacé - fr : thalle fruticuleux - sq : thalle squamuleux.

R : Mode de reproduction - so : reproduction par sorédies.

E : Ecologie - n : espèce nitrophile - s : espèce surtout calcicole

ZP : Espèces utilisées en bioindication avec indication de leur place dans l'échelle de sensibilité de Hawksworth et Rose (1970) modifiée par Déruelle (1983)

NB : Nombre de mailles où l'espèce est présente (tous milieux confondus).



Espèces lichéniques : 31 espèces lichéniques (Tab. 1) ont été déterminées auxquelles s'ajoute l'Algue *Pleurococcus viridis* que l'on trouve sous deux formes, en peuplement purement algal, vert vif, et en peuplement algo-fongique, vert sombre, qui peut être confondu avec le lichen poléotolérant *Scolisciosporum chlorococcum*.

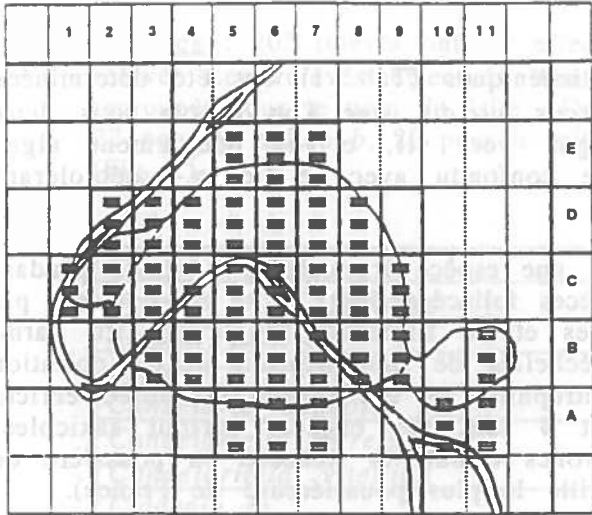
Parmi ces espèces, une seule est une espèce fruticuleuse à thalle pendant (*Evernia prunastri*), 13 sont des espèces foliacées dont 12 se reproduisent par des sorédies (boutures formées d'algues et de filaments fongiques). 20 parmi ces espèces sont utilisées dans les échelles de bioindication de la pollution atmosphérique. 11 sont des espèces nitrophiles ce qui révèle un milieu enrichi en azote et substances organiques et 4 sont des espèces surtout saxicoles-calcicoles dont la présence sur les troncs traduit la richesse en poussière de l'atmosphère parisienne (Paris est la ville la plus poussiéreuse de France).

L'Algue *Pleurococcus viridis* et le lichen *Lecanora conizaeoides*, toutes deux fortement poléotolérantes, sont les espèces les plus répandues. Comme nous le verrons, elles sont présentes sur tous les genres d'arbres, dans tous les milieux et dans toutes les mailles. Elles forment de grandes plaques vertes sur les troncs et sont donc bien visibles. Les autres espèces, notamment les espèces foliacées, ont des thalles de petite taille, souvent minuscules (quelques mm). Quoique très importantes en tant qu'espèces indicatrices d'une amélioration de la qualité de l'air, elles ne modifient en rien la physionomie générale de la végétation épiphytisque parisienne.

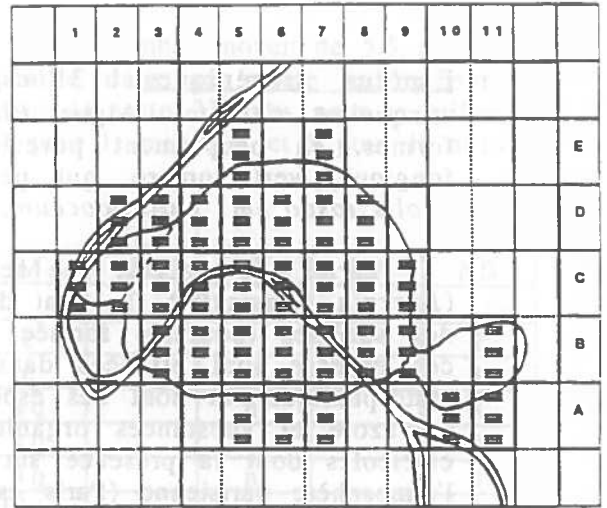
Répartition spatiale : La présence des différents épiphytes dans les mailles est variable. Certains sont présents presque partout tandis que d'autres n'ont été vus qu'une fois. On peut ainsi distinguer 4 groupes d'espèces:

- 3 espèces présentes dans presque toutes les mailles. Il s'agit de *Pleurococcus viridis* (32 mailles sur 33), *Lecanora conizaeoides* (29 mailles), deux espèces poléotolérantes et de *Lecanora dispersa* (25 mailles) dont la présence révèle peut-être un enrichissement du milieu en poussières calcaires.
- 5 espèces présentes dans au moins 14 mailles. Ce sont : *Physcia tenella* (22), *Physcia adscendens* (19), *Phaeophyscia orbicularis* (18), *Xanthoria parietina* (17), espèces foliacées, nitrophiles et indicatrices de zones moyennement polluées ( zones 4 et 5). *Lepraria incana* est une espèce crustacée, à thalle pulvérulent et poléotolérante (zone 2).
- 4 espèces foliacées, caractéristiques des mêmes zones de pollution, présentes dans 5 ou 6 mailles. *Physconia grisea* est une espèce nitrophile, *Parmelia sulcata* et *Parmelia borrieri* sont des espèces neutrophiles. *Hypogymnia physodes* est une espèce acidophile dont les exigences par rapport au pH sont étroites (Søchting, 1992)
- Les autres espèces sont présentes dans 4 mailles au plus.

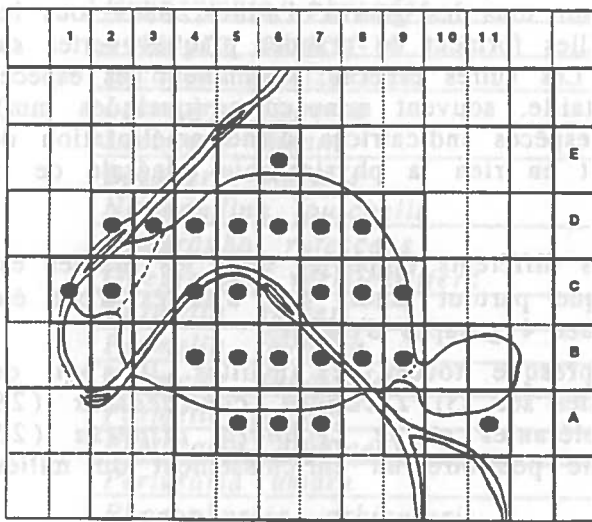
Les cartes de la figure 4 donnent quelques exemples de répartition des espèces dans Paris. L'algue *Pleurococcus viridis*, espèce indifférente à la pollution, est présente dans toutes les mailles, tous les milieux. *Lecanora conizaeoides* a également une répartition très large car il est très poléotolérant. L'espèce foliacée *Xanthoria parietina* a été observée dans 19 mailles situées principalement au sud de Paris. *Physcia tenella* est le plus commun des lichens foliacés répertoriés dans la capitale : il est présent dans 22 mailles. *Phaeophyscia orbicularis* est absent dans quelques mailles situées plutôt au nord de Paris. *Parmelia subaurifera*, espèce sensible (zone 6) a été observé uniquement dans 2 sites, au centre de Paris et au Bois de Vincennes.



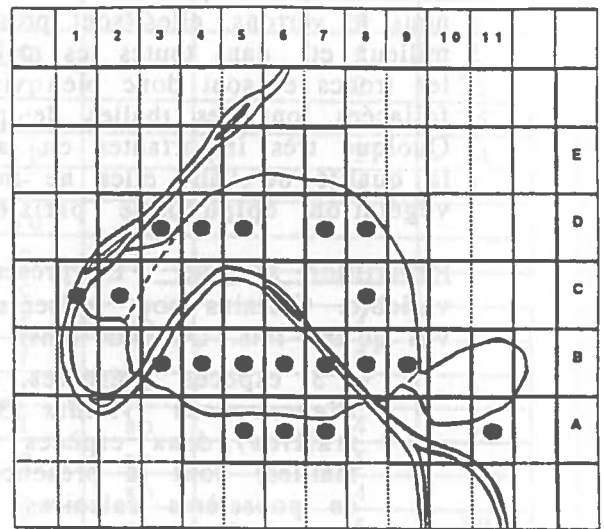
REPARTITION DE *PLEUROCOCCUS VIRIDIS*



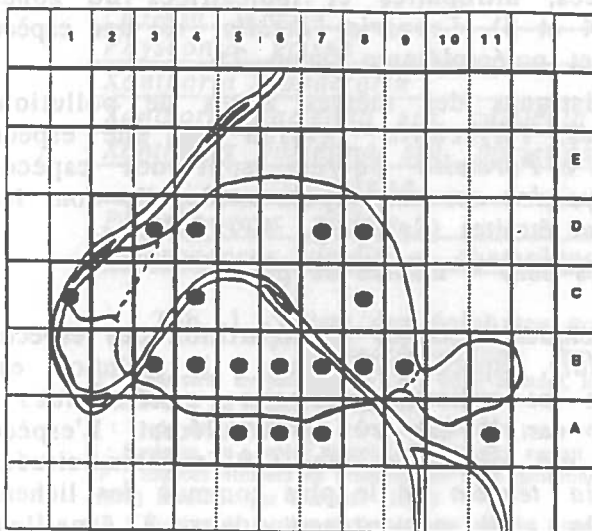
REPARTITION DE *LECANORA CONZIAEOIDES*



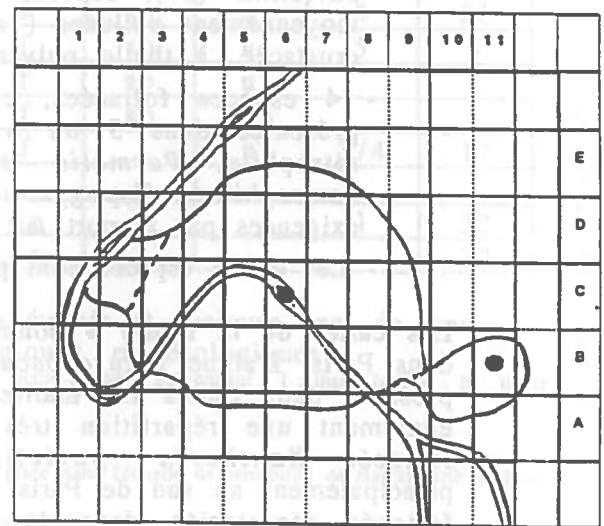
REPARTITION DE *PHYSCIA TENELLA*



REPARTITION DE *PHAEOPHYSCIA ORBICULARIS*



REPARTITION DE *XANTHORIA PARIETINA*



REPARTITION DE *PARMELIA SUBAURIFERA*

Fig. 4 - Distribution de quelques épiphytes dans Paris

Relations épiphytes et arbres : Comme le montre le tableau 2, tous les arbres ne sont pas également propices à l'installation des lichens. Les frênes, les peupliers, les paulownias et les chênes présentent une plus grande diversité d'espèces lichéniques que les autres essences.

	F R A X I N U S	Q U E R C U S	P O P U L U S	P A U L O N I A	T I L I A	G I N G K O	S A L I X	A C E R	A E S C U L U S	C A T A L P A	S O P H O R A	B R O U S S O N E T I A	B E T U L A	C E R C I S	A C A C I A	F A G U S	P L A T A N U S	P T E R O C A R Y A	U L M U S	A L N U S	C E D R E L A S	C A R P I N U S	J U G L A N S	L I R I O D E N D R O N	K O E L D E U T E R I A	P R U N U S	P I N U S	
arbres																												
nombre d'espèces lichéniques	22	20	16	16	15	14	10	10	8	8	8	8	7	6	6	6	5	5	4	4	4	4	3	3	3	2	2	

Tab. 2 - Richesse spécifique des principaux genres d'arbres étudiés.

Relations épiphytes et milieux : Les milieux aussi ne sont pas tous également favorables à l'installation des lichens (Fig. 5). Les arbres sur pelouses (milieu "b") présentent une plus grande richesse spécifique et une analyse statistique indique en plus une abondance et une fréquence des espèces plus importantes. Ceci s'explique par les caractéristiques écologiques plus favorables au développement des lichens : l'arrosage et l'enrichissement en engrais des pelouses, généralement l'absence de pollution canine à la base des troncs et l'éloignement des axes de circulation. Les milieux "c" et "d" sont également intéressants alors que les milieux "a" et "e" sont pauvres en espèces.

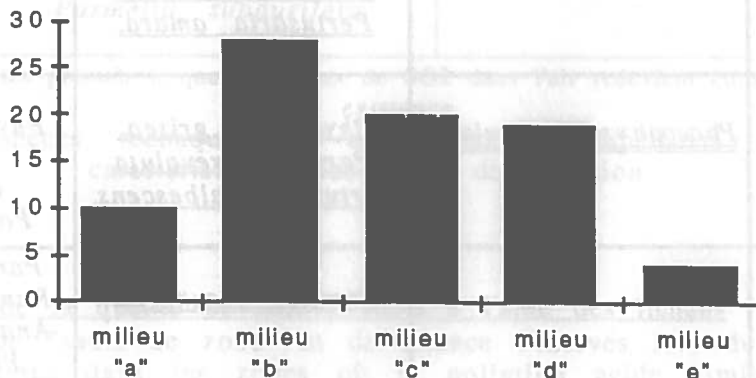


Fig. 5. Richesse spécifique comparée des différents milieux.

Espèces indicatrices de la qualité de l'air (acidité globale) : Comme l'indique le tableau 1, 17 des espèces présentes à Paris sont des espèces indicatrices utilisées dans les échelles d'estimation de la pollution. Elles appartiennent aux zones 1, 2, 3, 4, 5, et 6 de l'échelle d'estimation de la pollution acide de Déruelle (1983). Une comparaison plus poussée (tableau 3) permet de montrer que toutes les espèces caractéristiques d'une zone ne sont pas présentes en même temps à Paris et que des espèces de zones faiblement polluées peuvent y être plus communément répandues que certaines espèces de zones plus polluées. C'est le cas par exemple de *Phaeophyscia orbicularis*, espèce caractéristique de la zone 5, qui est présent dans 18 mailles, alors que *Buellia punctata* et *Diploicia canescens* caractéristiques des zones 2 et 3 n'ont été vus respectivement que 2

et 1 fois. Ce phénomène, signalé en Angleterre dès 1981 par Rose et Hawksworth est connu sous le nom de "sauts de zone".

Zones*	espèces caractéristiques de la zone		
	observées à Paris dans au moins 10 mailles	observées à Paris dans 6 mailles ou moins	non observées à Paris en 1991
1 > 170 $\mu\text{g.m}^{-3}$	<u><i>Pleurococcus viridis</i></u>		
2 125-170 $\mu\text{g.m}^{-3}$	<u><i>Lecanora conizaeoides</i></u> , <u><i>Lepraria incana</i></u> ,	<u><i>Buellia punctata</i></u>	<i>Lecanora expallens</i> ,
3 70 $\mu\text{g.m}^{-3}$	<u><i>Xanthoria parietina</i></u> (base), <u><i>Physcia adscendens</i></u> (base)	<u><i>Diploicia canescens</i></u> ,	
4 60 $\mu\text{g.m}^{-3}$	<u><i>Xanthoria parietina</i></u> , <u><i>Physcia adscendens</i></u> , <u><i>Physcia tenella</i></u> ,	<u><i>Parmelia borrieri</i></u> , <u><i>Xanthoria candelaria</i></u> , <u><i>Parmelia sulcata</i></u> , <u><i>Evernia prunastri</i></u> , <u><i>Pertusaria amara</i></u> ,	<i>Ramalina farinacea</i> , <i>Lecanora chlorotera</i> , <i>Chrysothrix candelaris</i> ,
5 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$	<u><i>Phaeophyscia orbicularis</i></u> ,	<u><i>Physconia grisea</i></u> , <u><i>Parmelia revoluta</i></u> , <u><i>Pertusaria albescens</i></u> ,	<i>Physconia distorta</i> , <i>Lecidella elaeochroma</i> , <i>Parmelia tiliacea</i> ,
6 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$		<u><i>Parmelia subaurifera</i></u> ,	<i>Parmelia caperata</i> , <i>Ramalina fastigiata</i> , <i>Anaptychia ciliaris</i> , <i>Physcia aipolia</i> , <i>Parmelia perlata</i> , <i>Ramalina fraxinea</i> .

double souligné: espèces observées dans au moins 14 mailles à Paris en 1991.

souligné plein: espèces observées dans 3 à 6 mailles à Paris en 1991.

souligné pointillé: espèces observées une ou deux fois à Paris en 1991.

\* zones de l'échelle de Déruelle (1983) et valeur estimée de la pollution acide globale exprimée en SO<sub>2</sub> par  $\mu\text{g.m}^{-3}$

Tab.3 : Relations lichens et pollution acide globale

Notion d'espèces conquérantes : De l'examen du tableau 3, il ressort que parmi les espèces caractéristiques d'une zone de pollution, certaines sont plus aptes que d'autres à se réinstaller dès que le taux de pollution devient compatible avec leur survie. Ce sont celles qu'en 1992, nous avons désignées sous le nom d'*espèces reconquérantes*. Il s'agit d'espèces colonisatrices, dotées d'une

dotées d'une grande fertilité et d'une croissance rapide. Il est possible d'identifier de telles espèces parmi chaque groupe d'espèces caractéristiques de zones (Tab. 4). Ces espèces sont pour la plupart des espèces foliacées se reproduisant grâce à des sorédiées et plusieurs sont des espèces de petite taille à longévité faible (petits *Physcia*). *Xanthoria parietina*, seule espèce conquérante non sorédiée, est connue pour la rapidité de son cycle de reproduction (Bubrick et Galun, 1986). On notera aussi qu'à Paris, sans doute à cause d'une atmosphère enrichie en matières organiques, plusieurs de ces espèces sont des espèces nitrophiles. Si la baisse de la pollution est rapide, les espèces conquérantes des diverses zones de pollution se développeront simultanément et c'est ce qui est à l'origine des "sauts de zone". Par ailleurs il semble que les espèces conquérantes diffèrent en fonction des caractères écologiques du milieu.

	Milieu riche en poussières basiques	Milieu pauvre en poussières
Zone 2	<i>Lecanora conizaeoides</i>	<i>Lepraria incana</i>
Zone 3	<i>Xanthoria parietina</i> <i>Physcia adscendens</i>	
Zone 4	<i>Physcia tenella</i> <i>Physcia adscendens</i> <i>Xanthoria parietina</i>	<i>Parmelia sulcata</i> <i>Parmelia borrieri</i>
Zone 5	<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	<i>Parmelia revoluta</i>
Zone 6	<i>Parmelia subaurifera</i>	

\* = revenant les premières, quand le taux de SO<sub>2</sub> dans l'air redevient compatible avec leur existence.

Tab. 4 : Espèces "reconquérantes" des différents groupements lichéniques, caractéristiques des zones de pollution

Comparaison de la qualité de l'air à Paris à l'aide des lichens : A cause de phénomènes de "sauts de zone" et de latence observés lors du retour des lichens épiphytes dans les zones où la pollution acide diminuait, on a considéré que les méthodes habituelles d'évaluation de la pollution, mises au point en période de pollution stable, étaient devenues inadaptées. A notre connaissance, aucune méthode de remplacement n'a jusqu'ici été élaborée.

En nous appuyant sur la méthode de Hawksworth et Rose, modifiée par Déruelle (1983) ainsi que sur les tableaux 4 et 5 ci-dessus, nous avons tenté de construire une échelle de comparaison de la qualité de l'air, établie à partir de la végétation lichénique épiphyte. Pour cela, en nous basant sur la présence des lichens pionniers, sans tenir compte de l'absence des espèces non conquérantes, plus lentes à se développer, nous avons construit une échelle comparative de la qualité de l'air (acidité globale) (Tab. 5). Seules les données des milieux "b", "c" et "d" sont prises en compte, puisque les deux autres milieux "a" et "e" sont pauvres et donc peu indicateurs. On obtient de la sorte une échelle allant de 1 à 5, la zone où la qualité de l'air est la meilleure étant cotée, 5 et celle où elle est la moins bonne, 1.



SI :	on place la maille en zone :
3 espèces de la zone 5 ou 2 avec 1 espèce de la zone 6	5
3 espèces au moins de la zone 4 ou 2 avec 2 espèces de la zone 5	4
3 espèces de la zone 3 ou 2 avec 2 espèces de la zone 4 , ou 1 espèce de zone 3 et 3 espèces plus sensibles	3
2 espèces de la zone 2 avec éventuellement une autre espèce	2
1 espèce de la zone 1 et une espèce de la zone 2	1

Tab.5 - Mode d'attribution d'une maille à une zone de qualité de l'air.

Carte de la qualité de l'air à Paris : En utilisant l'échelle ci-dessus, il est possible d'attribuer chaque maille à une zone (Tab. 6) et d'établir la carte d'estimation par maille de la qualité de l'air à Paris, qui en résulte (Fig. 6).

maille :	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	E	E	E			
	5	6	7	10	11	2	3	4	5	6	7	8	9	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2	3	4	5	6	7	8	5	6	7
Pleurococcus viridis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Lecanora conizaeoides	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Lecanora incana	2	2		2	2				2	2	2	2	2	2	2			2	2	2	2							2	2				
Buellia punctata	2			2																			2										
Diploicia canescens	3																						3										
Xanthoria par. esp.	4	4	4		4	4		4	4	4	4	4	4	4	4			4							4	4			4	4			
Physcia adscendens	4	4	4		4			4	4	4	4	4	4	4	4			4	4			4	4	4	4					4			
Physcia tenella	4	4	4		4	4			4	4	4	4	4	4	4			4	4			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
Xanthoria candelaria	4							4			4							4						4									
Hypogymnia physodes	4				4			4		4								4	4														
Parmelia suicata	4				4			4							4			4					4										
Parmelia borrieri	4				4					4	4		4	4									4										
Lecanora chlorotera	4							4	4																								
Pertusaria amara	4														4																		
Evernia prunastri	4	4			4					4																							
Physconia grisea	5								5	5	5	5	5	5	5								5										
Phaeophyscia	5	5	5		5		5	5	5	5	5	5	5	5	5							5			5	5	5		5	5			
Pertusaria albescens	5														5									5									
Parmelia revoluta	5									5																							
Parmelia subaurifera	6					6												6															
Maille attribuée à la zone:	4	4	1	3	5	0	3	4	5	4	5	4	4	3	4	4	1	2	3	4	1	4	2	4	4	3	3	2	3	4	1	1	1

Tab. 6- Présence des espèces indicatrices de la qualité de l'air dans les mailles, et attribution des mailles à une zone en fonction des critères du tableau 5.

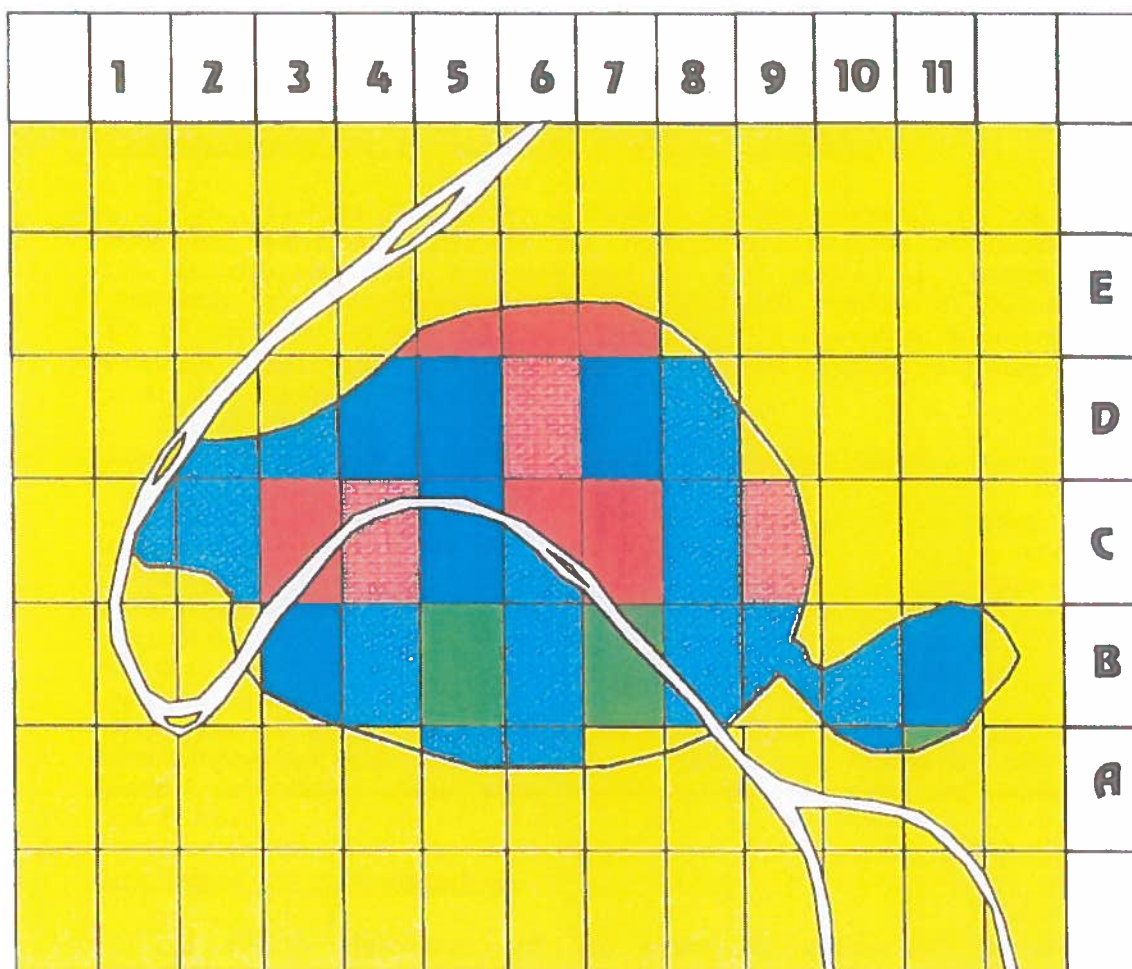
\* Zone de l'échelle de poléotolérance dont l'espèce est caractéristique.

Les mailles B2 et A7 où seul le milieu "a" a été étudié, ne sont pas à prendre en compte.

Cette carte, montre une certaine dissymétrie de part et d'autre d'un axe SW / NE ( mailles B3 / D8), la partie NW étant plus polluée que la partie S.

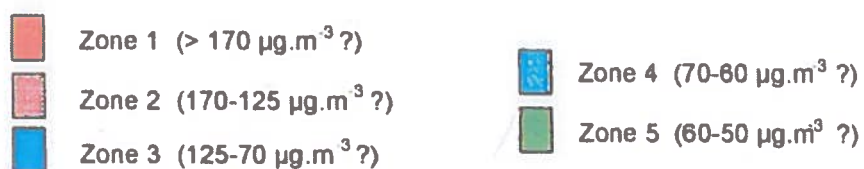
Les mailles colorées en vert (zone 5), correspondent à des relevés effectués dans le 5ème (Jardin du Luxembourg, Jardin carré du Ministère de la





**Fig. 6 - Carte de la végétation lichénique corticale à Paris**

établie en prenant pour référence l'échelle d'estimation de la pollution de l'air de Hawksworth et Rose (1970), modifiée par Déruelle (1983). (voir texte).



Les valeurs entre parenthèses correspondent, pour chaque zone, au taux estimé de  $\text{SO}_2$  de l'air, en moyenne hivernale. Établie en période de pollution forte et stable, cette estimation n'est donnée ici qu'à titre indicatif, car son adéquation à une période de baisse rapide de la pollution n'a pas encore été vérifiée, d'où le point d'interrogation. Les mailles B2 et A7 où seul le milieu "a" a été étudié, ne sont pas prises en compte

Recherche), dans le 13ème (square de Choisy) et dans le Bois de Vincennes (Arboretum de l'Ecole Dubreuil). L'échelle de comparaison utilisée qui ne prend en compte que quelques espèces indicatrices et pas la richesse spécifique des relevés ne permet pas de placer dans cette zone le Jardin de Bagatelle où de nombreuses espèces ont été trouvées.

## DISCUSSION

### L'enrichissement de la végétation lichénique corticole.

Les résultats ci-dessus confirment l'enrichissement de la végétation lichénique corticole parisienne par rapport aux données antérieures à 1990. Cet enrichissement ne concerne pas le seul jardin du Luxembourg, mais l'ensemble de la capitale à quelques exceptions près (mailles A8, B2, C3, C6, C7, E4, E5, E6, E7). Cet enrichissement, qui est lié à la diminution du taux de SO<sub>2</sub> dans l'air, est inégal: il varie avec la nature de l'arbre support, le milieu concerné et aussi la localisation dans Paris.

### Etudier l'amélioration de la qualité de l'air en milieu urbain.

L'influence de la nature du support et du type de milieu urbain sur l'implantation des lichens doit être prise en compte quand on veut suivre à l'aide de ces végétaux l'évolution de la qualité de l'air. Il convient en effet de choisir les arbres et les milieux les plus favorables de façon à réduire l'effet d'hystérésis signalé par les auteurs. *Le milieu "b" est de ce fait le plus indiqué et des arbres comme les frênes, les peupliers, les paulownias apparaissent particulièrement intéressants.* Toutefois, l'expérience montre que ces conditions ne se rencontrent pas partout et dans ce cas, il faut étendre les observations aux milieux c et d, comme nous l'avons fait et d'étudier des arbres moins favorables, mais plus communs, par exemple les tilleuls et les marronniers.

### Les arbres des rues (milieu a).

Il ressort clairement que les arbres du milieu "a" ne reflètent pas l'amélioration de la qualité de l'air constatée par ailleurs. Plusieurs hypothèses peuvent être formulées pour l'expliquer: a) la pollution, notamment celle liée à la circulation automobile (gaz d'échappement, poussières), y demeure élevée; b) il y règne des conditions climatiques particulières: température plus élevée (à cause de la proximité des murs des habitations et de leur réverbération), faible hygrométrie et moindre influence des eaux de pluie qui sont rapidement évacuées.

Les techniques d'estimation de la pollution à l'échelle régionale privilégient l'étude de la végétation des arbres du bord des routes et l'on pouvait se demander si dans les villes il convenait de se limiter aussi à l'étude des arbres bordant les voies de circulation. Nos résultats montrent que cela serait une erreur. Les rues des villes, étroits goulots, constituent un milieu particulier qui a peu à voir avec les routes en campagne. Déruelle (1983) avait déjà montré que la proximité d'obstacles (murs) influence la végétation des arbres voisins.

Espèces conquérantes. Echelle de comparaison de la qualité de l'air en ville et en période d'amélioration rapide de la qualité de l'air.

La notion d'*espèces conquérantes*, largement développée plus haut est un outil utile pour décrire le changement de la végétation lichénique dans les zones auparavant fortement urbanisées et polluées d'où les lichens avaient totalement disparu. Elle a permis d'élaborer une échelle d'évaluation de la qualité de l'air dans la capitale. Cependant il ne faut pas généraliser ces résultats qui demandent à être vérifiés dans l'espace et dans le temps : dans l'espace, car il n'est pas certain que dans des milieux urbains différents, moins enrichis en poussières calcaires et en matières organiques par exemple, ce soient les mêmes espèces qui jouent le rôle d'espèces conquérantes; dans le temps, car la plus ou moins grande vitesse de l'amélioration de la qualité de l'air, l'existence éventuelle de palliers ou de remontées interviennent probablement dans la combinaison des espèces trouvées.

Par ailleurs, du fait de la vitesse de croissance des thalles, très différente selon les espèces, on constate, paradoxalement, que c'est l'extension rapide sur les troncs des espèces crustacées pulvérulentes vertes, fortement poléotolérantes, qui signalent le mieux à l'oeil l'amélioration de la qualité de l'air à Paris.

Variations locales de la qualité de l'air à Paris.

Le fait, montré par la végétation épiphyte, que la partie SE de Paris est moins polluée que la partie NW est en accord avec les données des capteurs (Airparif, 1989) et les observations satellitaires (Bildgen, information orale). Il peut surprendre. En effet Paris étant soumis à des vents dominants du secteur W, on se serait plutôt attendu à un transport des polluants vers l'E, avec formation dans cette direction d'une "plume" de pollution, selon le schéma connu. En réalité, les faits observés s'expliquent principalement par l'existence de particularités climatologiques, propres aux grandes métropoles: il existe au NW de Paris un point chaud vers lequel convergent des vents locaux pollués (Escourrou, 1991). D'autres influences, topographiques ( hauteurs) et géo-économiques (existence à l'W de la zone industrielle de la vallée de la Seine) agissent dans le même sens.

Estimation du taux de SO<sub>2</sub> dans l'air

L'échelle élaborée ne permet pas d'estimer le taux de SO<sub>2</sub> dans l'air. Pour transformer cette échelle comparative en échelle estimative, une étude approfondie des corrélations avec les données des capteurs serait nécessaire. Tout au plus peut-on dire que les données des capteurs du 13ème, 15ème et 8ème arrondissements confirment les résultats de l'échelle comparative (le 13ème moins pollué que le quinzisième, lui-même moins pollué que le 8ème), mais il est impossible d'aller plus loin pour l'instant. En conséquence, si dans la légende de la figure 6, sont indiquées pour chacune des zones de l'échelle comparative, les taux de SO<sub>2</sub> estimés de la zone correspondante de l'échelle de Hawksworth et Rose, il ne s'agit là que d'un rappel.

## CONCLUSION

L'étude qui précède montre sans ambiguïté l'intérêt de la prise en compte des lichens dans l'observation de l'amélioration de la qualité de l'air dans les grandes métropoles initialement fortement polluées, intérêt qui avait été mis en doute à cause de l'existence des phénomènes d'hystérésis et de sauts de zone. Le phénomène d'hystérésis apparaît moins gênant que prévu. D'une part il peut être minimisé par l'étude préférentielle des milieux les plus favorables. D'autre part, s'il interdit de suivre le détail des changements journaliers, mensuels ou saisonniers de la pollution, il permet leur intégration à l'échelle de l'année. Enfin, l'étude à un an de distance du Jardin du Luxembourg, a montré des changements significatifs indiquant que la modification de la flore lichénique pourrait être plus rapide que prévu.

On conçoit donc l'intérêt qu'il y aurait à réaliser, par cette méthode, un suivi de la situation afin de confirmer le maintien, voire l'amélioration, de la qualité de l'air à Paris.

## REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre gratitude à la Direction des Parcs et Jardins de la Ville de Paris qui a subventionné ces travaux et tout spécialement à Mme Bérault, Chef du service Paris-Nature et à Mme Claude Frison, Adjointe au Chef du service Paris-Nature pour l'intérêt qu'elle a toujours manifesté pour nos recherches.

Nous remercions également très chaleureusement les responsables du Comité Faune-Flore (Museum National d'Histoire Naturelle) pour l'aide éminente apportée dans le traitement des données : M. Maurin, Directeur, M. Haffner, chargé de l'Atlas de Lichens de France et tout particulièrement M. Brulard, informaticien.

RESUME. 31 lichens ont été trouvés sur les troncs des arbres de Paris. Tous les arbres ne sont pas également favorables à leur installation: les frênes, les peupliers, les chênes, les paulownias, les tilleuls et les ginkgos sont les plus riches en espèces. L'environnement est important: les arbres plantés sur les pelouses des squares sont les plus favorables aux lichens, suivis des arbres des allées de squares et des clairières des bois parisiens. Les arbres d'alignement, le long des rues et des places, sont très pauvres ainsi que ceux des sous-bois. L'algue *Pleurococcus viridis* et le lichen *Lecanora conizaeoides* se trouvent partout et couvrent largement les troncs qu'ils colorent en vert. Toutefois d'autres espèces sont également fréquentes. *Physcia tenella* et *Physcia adscendens* sont présents dans les deux-tiers des mailles, suivis par *Xanthoria parietina* et *Phaeophyscia orbicularis*, mais leurs thalles sont petits et peu visibles. 17 des 32 épiphytes sont des espèces indicatrices de la pollution de l'air; elles appartiennent aux zones 1 à 6 de l'échelle de Hawksworth et Rose modifiée par Déruelle (1983). Il est montré que certaines espèces indicatrices sont plus aptes que d'autres à se réimplanter sur les arbres après une amélioration de la qualité de l'air: elles sont qualifiées de *conquérantes*. On peut en déceler parmi chaque groupe d'espèces indicatrices de zones; elles peuvent se développer avant d'autres espèces moins sensibles. Une échelle d'évaluation de la qualité de l'air à Paris est proposée et une carte comparative de cette qualité est dressée.



SUMMARY. 31 epiphytic lichens have been observed in Paris. Some trees are preferentially colonized such as species of *Fraxinus*, *Quercus*, *Populus*, *Paulownia*, *Tilia* and *Ginkgo*. Environmental characteristics are important: trees grown on lawns in gardens are especially rich, followed by trees along paths in parks or those in open areas in the parisian woods. Oppositingly, trees lining streets are very poor as well as those of dark undergrowths. *Pleurococcus viridis* (Algae) and *Lecanora conizaeoides* (Lichen) are the most common species and they colour in green large areas of the tree trunks. Other species are also frequent: *Physcia tenella* et *Physcia adscendens* are present in 2/3 of the squares of the grid, followed by *Xanthoria parietina* and *Phaeophyscia orbicularis*, but their thalli are small and hardly visible. 17 out of the 32 epiphytes are known as indicators of air quality and they belong to zones 1 to 6 of the scale of Hawksworth et Rose (1970) modified by Déruelle (1983). It is shown that when the pollution rate decreases, certain indicative species instal quicker than others of similar sensitivity: they are qualified of *conquering species*. Such species are identified amongst each group of species indicative of zones; they may develop before others less sensitive. A scale to compare air quality in Paris has been elaborated and a comparative map has been drawn.

### BIBLIOGRAPHIE

- AIRPARIF, 1989 - Edition annuelle des résultats de mesure de la pollution atmosphérique en région Ile de France.
- BELANDRIA G. et ASTA J., 1986 - Les lichens bioindicateurs de la pollution acide dans la région lyonnaise. *Poll. atm.*, 109, 10-23.
- BOULY DE LESDAIN M., 1948 - Ecologie (Phanérogames, mousses, lichens) de quelques sites de Paris. *Encycl. Biogéogr. et Ecol.*, 1-88.
- BUBRICK P. et GALUN M., 1986 - Spore to spore resynthesis of *Xanthoria parietina*. *Lichenologist*, 18, 47-49.
- CLAUZADE G. et ROUX C., 1985 - Likenoj de Okcidenta Europo. Illustrita determinlibro. *Bull. Soc. bot. Centre-Ouest, Nouvelle série, Numéro spécial*, 7, 893 p.
- DERUELLE S., 1977 - Influence de la pollution atmosphérique sur la végétation lichénique des arbres isolés dans la région de Mantes (Yvelines). *Rev. Bryol. Lichénol.*, 43, 2, 137-158.
- DERUELLE S., 1983 - Ecologie des lichens du Bassin Parisien. Impact de la pollution atmosphérique (engrais, SO<sub>2</sub>, Pb) et relations avec les facteurs climatiques. Thèse de Doctotat d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 356 p. et annexe 202 p.
- DERUELLE S. et GUILLOUX F., 1993 - Evolution de la végétation en région parisienne entre 1981 et 1991 en relation avec la qualité de l'air. *Bull. Inform. Ass. Fr. Lichénol., Mémoires*, n° 2.
- ESOURROU G., 1991 - le climat et la ville. Géographie d'Aujourd'hui. Nathan, 190 p.
- HAWKSWORTH D.L. et Mc MANUS P.M., 1989 - Lichen recolonization in London under conditions of rapidly falling sulphur dioxide levels, and the concept of zone skipping. *Bot. J. Linn. Soc.*, 100, 99-109.

- HAWKSWORTH D.L. et ROSE F., 1970 - Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227, 145-148.
- HENDERSON-SELLERS A. et SEAWARD M.R.D., 1979 - Monitoring lichen reinvasion of ameliorating environments. *Environ. Pollut.*, 19, 207-213.
- LEBLANC F. et DE SLOOVER J., 1970 - Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Can. J. Bot.*, 48, 1485-1496.
- LETROUIT-GALINOU M.A., 1992 - Recherches en cours sur les lichens corticoles à Paris et en Ile de France. *Bull. Inform. Ass. Fr. Lichénol., Mémoires, n° 1*, 35-49.
- LETROUIT- GALINOU M.A., SEAWARD M.R.D. et DERUELLE S., 1992 - A propos du retour des lichens épiphytes dans le Jardin du Luxembourg (Paris). *Bull. Soc. bot. Fr., 139, Lettres bot.*, 115-126.
- NYLANDER W., 1866 - Les lichens du Jardin du Luxembourg. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 13, 364-372.
- NYLANDER W, 1896 - Les lichens des environs de Paris. *Typographie Paul Schmidt, Paris*, 9 p.
- ROSE C.I. et HAWKSWORTH D.L., 1981 - Lichen recolonization in London's cleaner air. *Nature.*, 289, 289-292.
- SEAWARD M.R.D. et LETROUIT-GALINOU M.A., 1991 - Lichen recolonization of trees in the Jardin du Luxembourg, Paris. *Lichenologist*, 23, 181-186.
- SØCHTING U., 1991 - Etat actuel de la bioindication par les lichens dans la région de Copenhague. *Bull. Inform. Ass. Fr. Lichénol., Mémoires, n° 1*, 56-57.
- VAN HALUWYN C. et LEROND M., 1986 - Application d'une nouvelle méthodologie à la cartographie de la pollution atmosphérique de la moitié nord de la France. Rapport final du contrat N° 82. Ministère de l'Environnement et de la Recherche, 130 p.



**MICHEL  
LEROND  
CONSULTANT  
ENVIRONNEMENT**

**SUIVI DE LA QUALITE DE  
L'AIR**

**EN NORMANDIE**

**A L'AIDE DES LICHENS**

*ANNEES 90 : émergence d'une culture qui met  
écologie et économie sur le même plan.*

*Voici venu le temps du management économique.*

**Le point du Jour - SIGY EN BRAY - Téléphone 35 90 75 31**

Nos travaux de lichénologie ont commencé à partir de 1973. A cette date pratiquement aucune recherche n'avait été menée en Normandie depuis la fin du XIXe siècle.

La Normandie comprend deux des quelques 180 régions de la Communauté Européenne : la Basse Normandie et la Haute Normandie.

Nous avons travaillé essentiellement dans le domaine de la recherche appliquée et de la pédagogie avec un souci d'ouverture sur d'autres domaines.

Nous envisagerons ici quatre aspects : la **recherche**, le **génie écologique**, la **pédagogie** et la **communication**.

## 1. LES LICHENS ET LA RECHERCHE

Nos différentes études se sont progressivement diversifiées du point de vue méthodologique et de leur champ d'application selon la chronologie suivante :

**1975** : Mise en évidence de la pollution atmosphérique dans le Parc naturel régional de **Brotonne** par l'étude des lichens sur la base de la méthode de HAWKSWORTH et ROSE.

**1981** : Cartographie de la qualité de l'air de la **Normandie orientale** en utilisant les lichens comme bioindicateurs : environ 1750 stations étudiées et mise au point d'une nouvelle méthode basée sur les groupements de lichens.

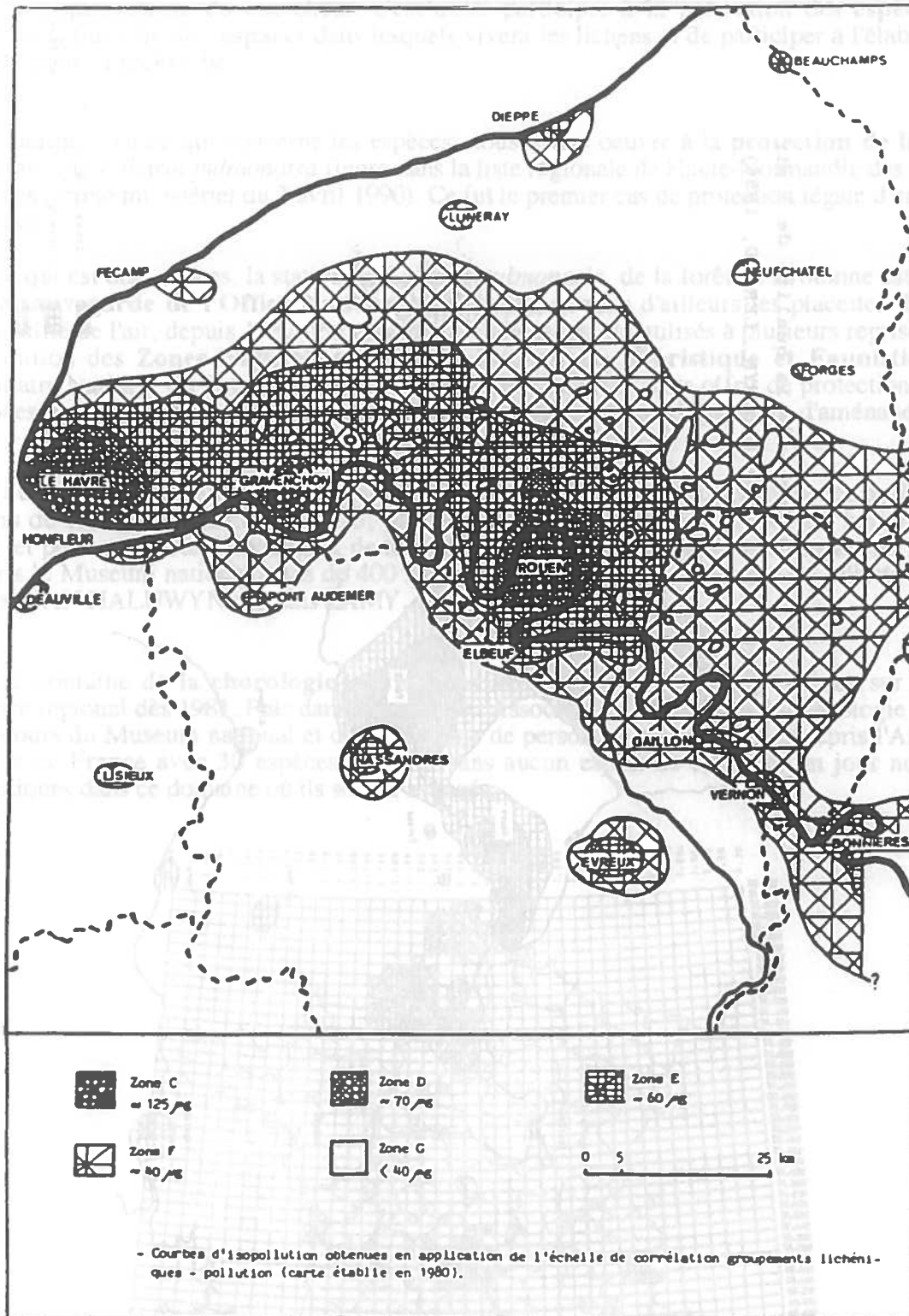
**1982** : La Direction régionale de l' Office National des Forêts demande un **suivi de la cartographie initiale**. Elle met son personnel technique à disposition pour les forêts domaniales. Les réseaux de mesure de la pollution en Basse Seine, ALPA et REMAPPA acceptent le principe du financement du suivi sur toute la Haute-Normandie tous les deux ans.

De **1982 à 1986** une démarche méthodologique parallèle a été conduite avec Chantal VAN HALUWYN, dans le cadre d'un contrat SRETIE (Ministère de l'Environnement) portant sur la moitié Nord de la France. Cette recherche a permis de conclure sur plusieurs points importants :

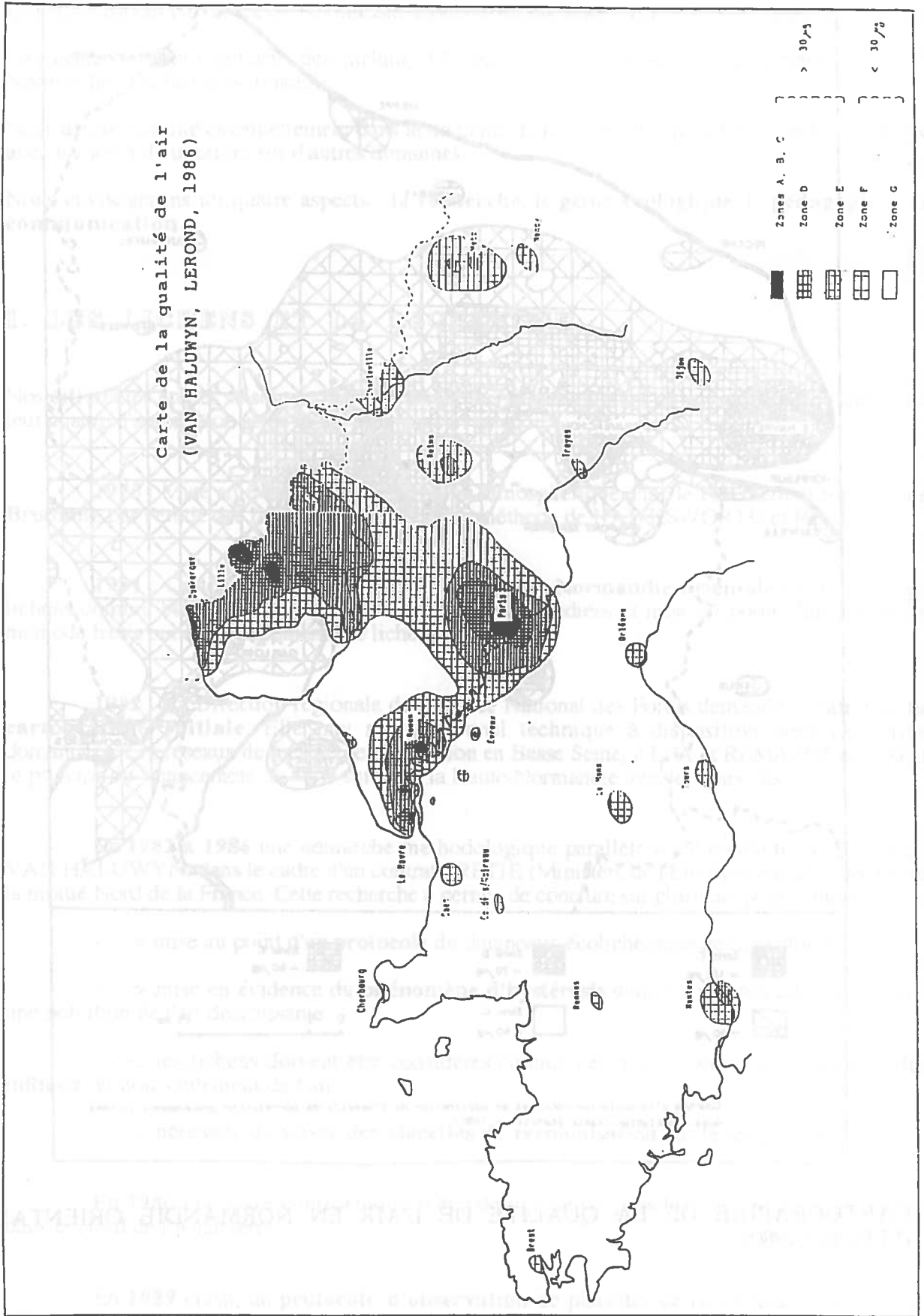
- > mise au point d'un **protocole** du diagnostic écolichénique de la qualité de l'air.
- > mise en évidence du **phénomène d'hystérésis** dans les régions qui connaissent une pollution de l'air décroissante.
- > les lichens doivent être considérés comme des bioindicateurs de la **qualité des milieux** et non seulement de l'air.
- > nécessité de suivre des **placettes de recolonisation** sur le long terme.

En **1986** une autre confrontation méthodologique fut possible avec Mark SEAWARD dans le Nord de l'Angleterre.

En **1989** enfin, un **protocole d'observation** de placettes de recolonisation à Rouen, Lille et Bradford, a été mis au point avec Chantal VAN HALUWYN et Mark SEAWARD.



CARTOGRAPHIE DE LA QUALITE DE L'AIR EN NORMANDIE ORIENTALE (LEROND,1980).



CARTOGRAPHIE DE LA QUALITE DE L'AIR SUR LA MOITIE NORD DE LA FRANCE  
(VAN HALUWYN, LEROND, 1986).

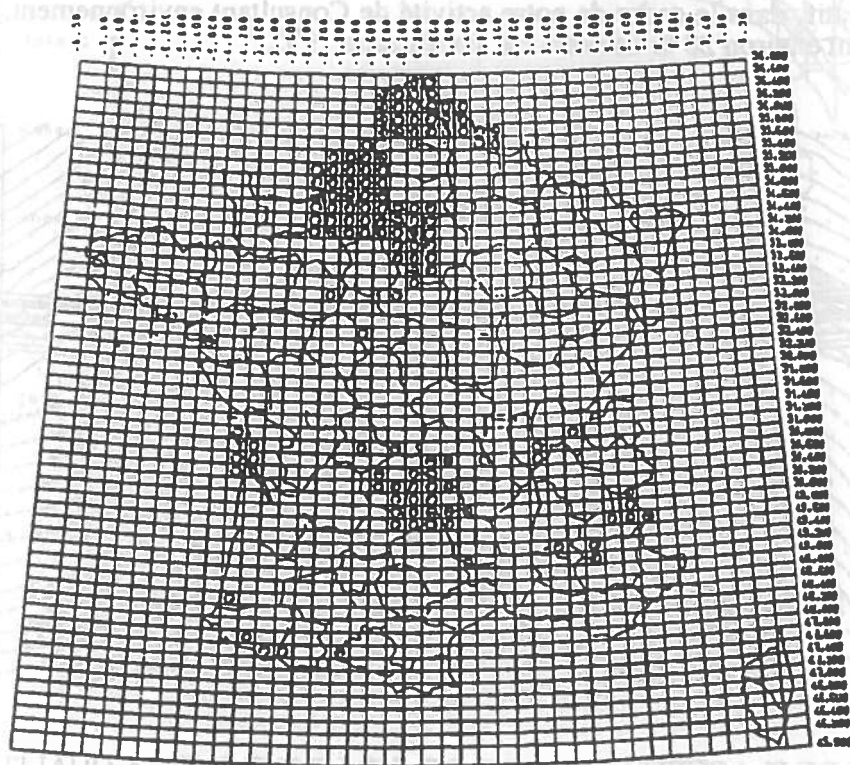
Mais la responsabilité du chercheur, c'est aussi participer à la protection des espèces sur lesquelles il travaille, des espaces dans lesquels vivent les lichens et de participer à l'élaboration d'outils pour la recherche.

C'est pourquoi, en ce qui concerne les espèces, nous avons œuvré à la **protection de lichens**. C'est ainsi que *Lobaria pulmonaria* figure dans la liste régionale de Haute-Normandie des plantes protégées (arrêté ministériel du 3 avril 1990). Ce fut le premier cas de protection légale d'un lichen en France.

Pour ce qui est des espaces, la station de *Lobaria pulmonaria* de la forêt de Brotonne est placée sous la **sauvegarde de l'Office National des Forêts**, comme d'ailleurs les placettes de suivi de la qualité de l'air, depuis 1982. Par ailleurs les lichens ont été utilisés à plusieurs reprises pour la définition des **Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Floristique et Faunistique** de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel, entre 1982 et 1990. Sans offrir de protection légale, ces zones sont néanmoins prises en compte systématiquement dans les questions d'aménagement.

En ce qui concerne les outils de la recherche, nous avons procédé au recensement des **herbiers de lichens** de Haute-Normandie en 1973, puis des museums français en 1980 (80 herbiers sans Paris), et pour compléter l'inventaire, de tous les établissements scientifiques français en 1987, y compris le Museum national (près de 400 herbiers au total) avec le concours de Juliette ASTA, Chantal VAN HALUWYN et Denis LAMY.

Dans le domaine de la **chorologie** enfin, nous avons cartographié 135 espèces sur tout le territoire régional dès 1981. Puis dans le cadre de l'Association Française de Lichénologie et avec le concours du Museum national et d'une vingtaine de personnes, nous avons entrepris l'Atlas des Lichens de France avec 30 espèces d'abord, sans aucun espoir de rattraper un jour nos amis Britanniques dans ce domaine où ils sont si avancés.



ATLAS DES LICHENS DE FRANCE, ETAT DES PROSPECTIONS  
(SECRETARIAT FAUNE FLORE, 1991).



## 2. LES LICHENS ET LE GENIE ECOLOGIQUE

Le génie écologique, c'est en quelque sorte l'art d'appliquer les données de l'écologie à l'aménagement, c'est ce que nous avons pratiqué dans le domaine de la qualité de l'air.

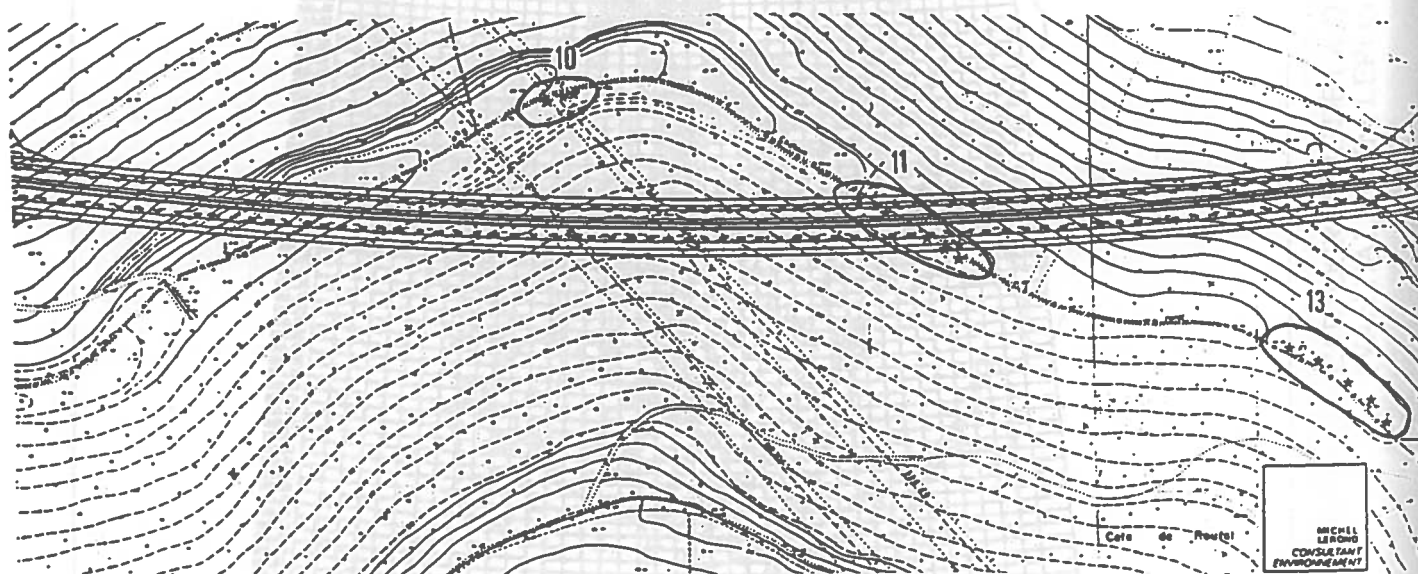
A partir de la demande de l' ONF et des réseaux de mesures de la pollution, **un premier suivi** de la cartographie de la qualité de l'air en Haute-Normandie a été effectué en 1982 sur un peu moins de 10 % des stations étudiées auparavant. Les agents de l' ONF (Onze agents techniques plus des personnels de la Direction régionale) ont bénéficié d'une journée de formation collective, puis d'une reconnaissance de chacune des placettes accompagnée de la remise de documents et échantillons.

Deux types de placettes ont été retenus pour ce suivi : les **placettes de milieu ouvert**, environ 150 au départ et les **placettes ONF**, soit une soixantaine.

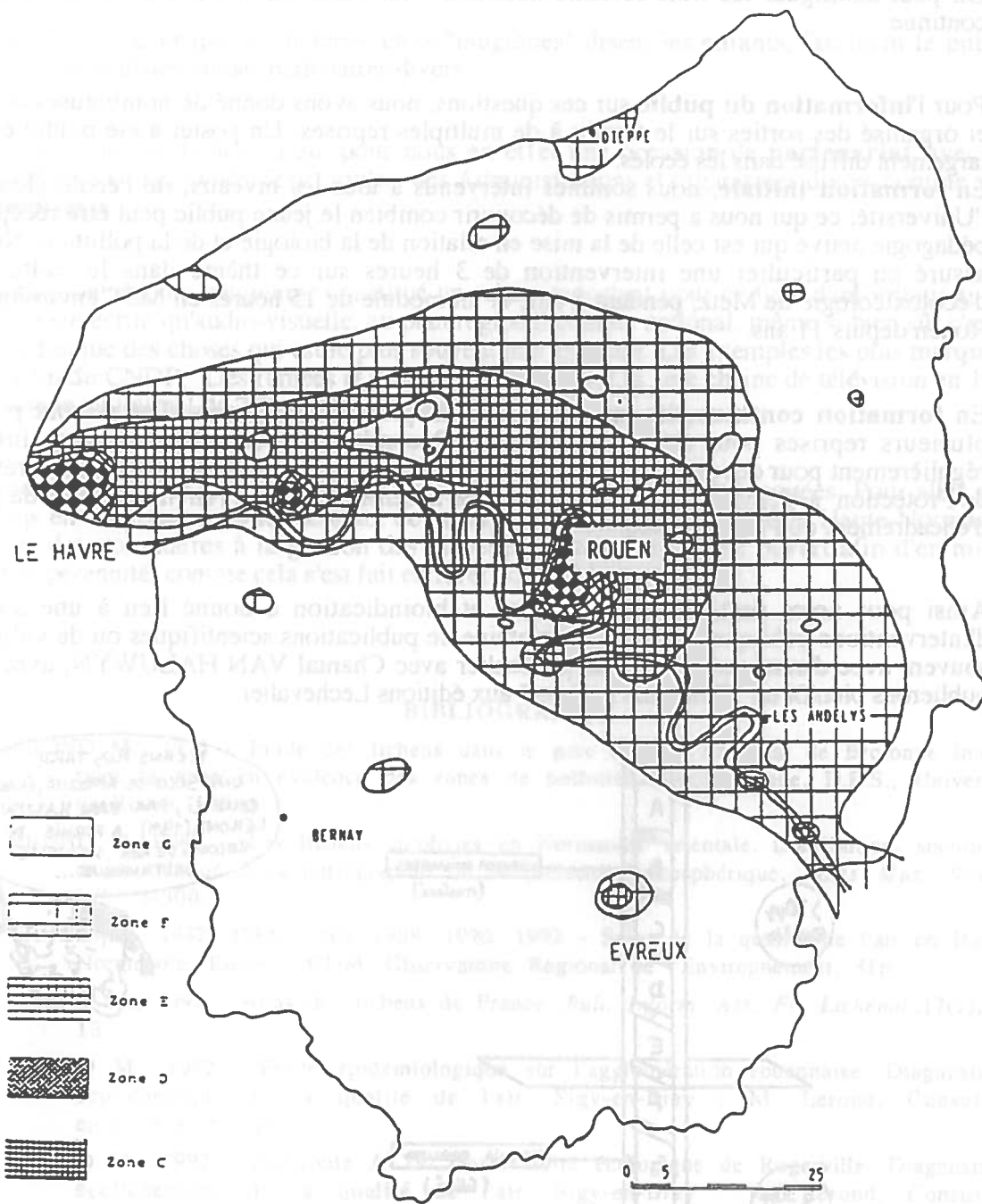
De **1984 à 1992** des suivis réguliers ont été effectués dans les mêmes conditions tous les deux ans et ont fait chaque fois l'objet d'un rapport .

Par ailleurs nous avons été sollicité par des entreprises dès 1976 pour expertiser dans le cas de conflits de voisinage, ou par des bureaux d'études en partenariat. Plus récemment, nous sommes intervenus pour un **diagnostic écolichénique de la qualité de l'air** sur l'Observatoire de l'autoroute A 29 près du Havre, pour la société Scétauroute. De même un diagnostic écolichénique de la qualité de l'air de l'agglomération de Rouen a été établi pour la DDASS dans le cadre d'une étude épidémiologique.

A titre indicatif, dans le cadre de notre activité de Consultant environnement, ces interventions représenteront environ 20 % de notre chiffre d'affaire 1992.



REPERAGE DE PLACETTES A LICHENS POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR SUR L'OBSERVATOIRE ECOLOGIQUE AUTOROUTIER DE ROGERVILLE (LEROND, 1992).



SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR EN HAUTE NORMANDIE  
(LEROND, 1990).

### 3. LES LICHENS ET LA PEDAGOGIE

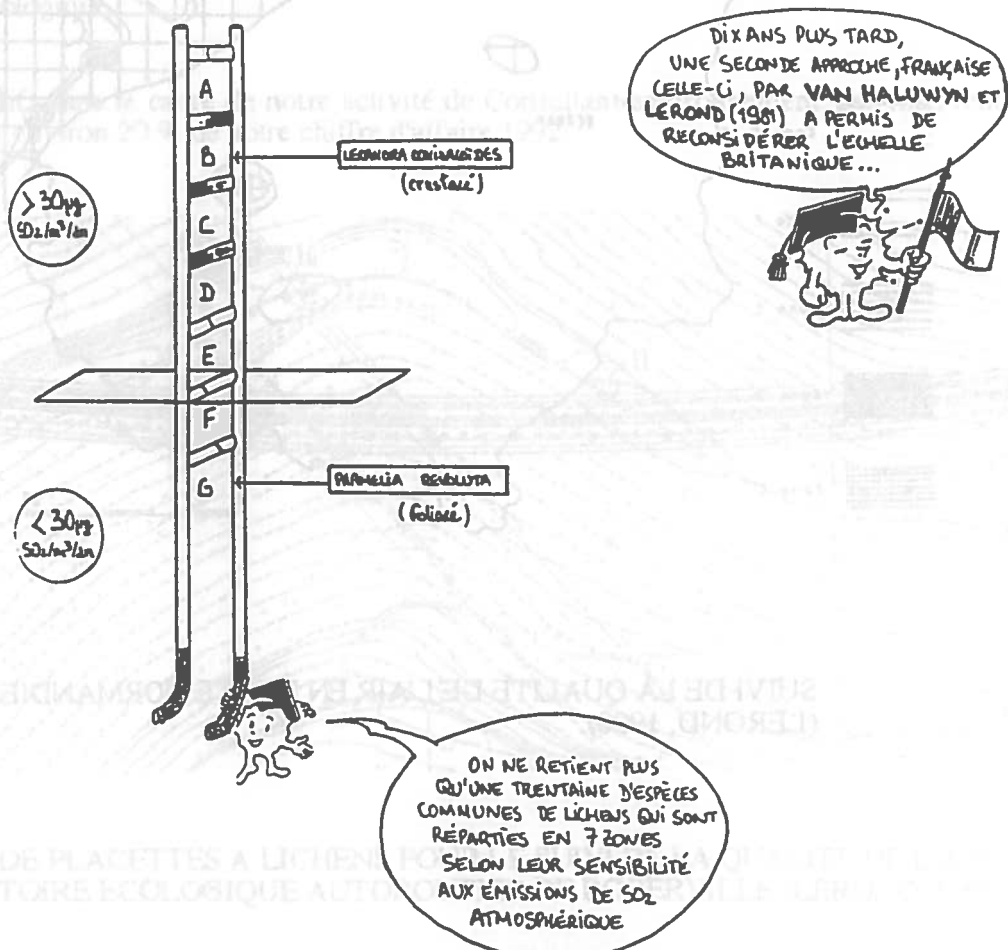
On peut distinguer les trois secteurs habituels : information, formation initiale et formation continue.

Pour l'**information du public** sur ces questions, nous avons donné de nombreuses conférences et organisé des sorties sur le terrain à de multiples reprises. Un poster a été publié en 1989 et largement diffusé dans les écoles.

En **formation initiale**, nous sommes intervenus à tous les niveaux, de l'école élémentaire à l'Université, ce qui nous a permis de découvrir combien le jeune public peut être réceptif à cette pédagogie active qui est celle de la mise en relation de la biologie et de la pollution. Nous avons assuré en particulier une intervention de 3 heures sur ce thème dans le cadre du DEA d'écotoxicologie de Metz, pendant 5 ans, et un module de 15 heures en MST environnement de Rouen depuis 11 ans.

En **formation continue**, les interventions sont plus limitées, mais elles se sont produites à plusieurs reprises pour des enseignants du Secondaire, et actuellement nous intervenons régulièrement pour des cadres de l'industrie et de l'assurance au Centre National de Prévention et de Protection à Vernon et Paris, ainsi que pour la sensibilisation à l'environnement du personnel d'encadrement du Part du Havre.

Ainsi pour notre part, le thème lichens et bioindication a donné lieu à une soixantaine d'interventions publiques et à une quarantaine de publications scientifiques ou de vulgarisation, souvent avec d'autres auteurs et en particulier avec Chantal VAN HALUWYN, avec qui nous publierons bientôt un "Guide des Lichens" aux éditions Lechevalier.



#### 4. LES LICHENS ET LA COMMUNICATION

Force est de constater que les lichens, êtres "magiques" disent les enfants, fascinent le public, comme les journalistes ou des partenaires divers.

La bioindication des lichens a été pour nous en effet une occasion de **partenariat** avec les Universités, les Collectivités Territoriales, des Administrations et organismes divers comme avec les entreprises.

Les **médias** ont depuis longtemps constitué un relais important pour ce type d'information, tant pour la presse écrite qu'audio-visuelle, au plan régional comme national, même si bien sûr c'est le côté anecdotique des choses qui est le plus souvent mis en avant. Les exemples les plus marquants étant le film du CNDP, "Des fumées et des villes", diffusé sur la 1ere chaine de télévision en 1979 ou le passage au journal de 20 heures de TFI en 1989.

Le **grand public** enfin a pu être convié aux différentes activités déjà évoquées. Pour aller plus loin, nous envisageons avec les réseaux de mesure de la pollution de l'air de Haute-Normandie d'associer des volontaires à la gestion des placettes de suivi en milieu ouvert afin d'en mieux garantir la pérennité, comme cela s'est fait en forêt domaniale avec l'ONF.

#### BIBLIOGRAPHIE

- LEROND M., 1975 - Etude des lichens dans le parc Naturel Régional de Brotonne Intérêt pour la mise en évidence des zones de pollution atmosphérique. D.E.S., Université de Rouen, 185 p.
- LEROND M., 1981 - Les lichens épiphytes en Normandie orientale. Distribution, sociologie et application à la cartographie de la pollution atmosphérique. *Actes Mus. Rouen*, 1-2, 1-300.
- LEROND M., 1982, 1984, 1986, 1988, 1990, 1992 - Suivi de la qualité de l'air en Haute-Normandie. Rouen : CDM, Observatoire Régional de l'Environnement, 31p.
- LEROND M., 1992 - Atlas des lichens de France. *Bull. Inform. Ass. Fr. Lichénol.*, 17(1), 3-13.
- LEROND M., 1992 - Etude épidémiologique sur l'agglomération rouennaise. Diagnostic écolichénique de la qualité de l'air. Sigy-en-Bray : M. Lerond, Consultant environnement, 26 p.
- LEROND M., 1992 - Autoroute A 29. Observatoire écologique de Rogerville. Diagnostic écolichénique de la qualité de l'air. Sigy-en-Bray : M. Lerond, Consultant environnement, 22 p.
- LEROND M., VAN HALUWYN C., ASTA J. et LAMY D., 1987 - Inventaire des herbiers français de lichens. *Cryptogamie, Bryol. Lichénol.*, 8, 1-25.
- LEROND M., et VAN HALUWYN C., 1988 - Lichens et pollution : suivi de placettes de recolonisation. *Bull. Inform. Ass. Fr. Lichénol.*, 13(2), 12-17.
- VAN HALUWYN C. et LEROND M., 1986 - Les lichens et la qualité de l'air. Evolution méthodologique et limites. Ministère de l'Environnement, Paris, 207p.
- VAN HALUWYN C. et LEROND M., 1993 - Guide des lichens. Lechevalier, Paris, 345 p.

# LES LICHENS, INDICATEURS DE POLLUTION ATMOSPHERIQUE DANS LA REGION RHONE ALPES

Juliette ASTA

Laboratoire de Biologie Alpine  
Université Joseph Fourier, Grenoble I  
B.P. 53 X - F 38041 GRENOBLE CEDEX

Plusieurs types de pollution ont été étudiés à l'aide des lichens dans la région Rhône-Alpes. Nous en présentons ici trois exemples : la détection de la pollution acide dans la région lyonnaise, celle de la pollution fluorée dans les vallées alpines et les travaux conduits sur l'impact de la pollution diffuse dans les massifs forestiers de la région grenobloise.

## I - LICHENS ET DETECTION DE LA POLLUTION ACIDE DANS LA REGION LYONNAISE

L'étude de la détection de la pollution acide à l'aide des lichens a été réalisée dans la région lyonnaise en 1984. Dans ce travail, nous avons utilisé la méthode qualitative d'HAWKSWORTH et ROSE (1970) pour établir la cartographie de la pollution atmosphérique (BELANDRIA et ASTA, 1986).

Cinquante sept espèces (56 espèces de lichens et l'algue *Desmococcus viridis*) ont été repérées dans la région étudiée. La majorité d'entre elles sont signalées dans l'échelle qualitative d'HAWKSWORTH et ROSE, mais certaines autres sont présentes et ne sont pas signalées dans les travaux antérieurs. Nous avons donc été conduits à établir une nouvelle échelle qualitative pour la région lyonnaise (Tabl. I et II) qui appelle les remarques suivantes :

1 - Comme DERUELLE (1983), il nous a paru plus approprié de grouper les zones 0 et 1 d'une part et les zones 2 et 3 d'autre part, à cause du faible nombre des espèces trouvées qui, à part *Desmococcus*, présentent apparemment un même seuil de tolérance.

2 - Les espèces signalées dans les tableaux I et II par un astérisque ont été trouvées rarement dans la région étudiée. Cependant, ce sont des espèces dont les seuils de sensibilité sont déjà connus et nous avons pu les rattacher aux différentes zones de pollution correspondantes.

3 - Nous avons indiqué dans la présente échelle quatre espèces non signalées dans les travaux antérieurs (*Candelariella xanthostigma*, *Caloplaca pyracea*, *Usnea muricata* et *Lepraria latebrarum*) par le fait que ces espèces présentent une vaste répartition géographique et un fort coefficient d'abondance :



Tabl. I - Echelle qualitative pour l'estimation de la pollution hivernale dans la région lyonnaise avec les lichens épiphytes des arbres à écorce non eutrophisée (BELANDRIA et ASTA, 1986).

Zone	SO <sub>2</sub> (enug/m <sup>3</sup> )	Espèces caractéristiques
0-1	> 170	<i>Desmococcus viridis</i> à la base.
2-3	125-150	<i>Desmococcus viridis</i> , <i>Lecanora conizaeoides</i> sur tout le tronc; <i>Lepraria latebrarum</i> fréquent à la base
4	~ 70	<i>Lepraria incana</i> , <i>Lecanora expallens</i> ; <i>Parmelia saxatilis</i> *, <i>Parmelia sulcata</i> et <i>Hypogymnia physodes</i> à la base.
5	~ 60	<i>Lecanora chlorotera</i> apparaissent; <i>Evernia prunastri</i> limité à la base. <i>Phlyctis argena</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia sulcata</i> , <i>Parmelia borteri</i> , <i>Pertusaria amara</i> , <i>Ramalina farinacea</i> **.
6	~ 50	<i>Pertusaria albescens</i> , <i>Parmelia subaurifera</i> , <i>Pseudevernia furfu-</i> <i>racea</i> *, <i>Graphis scripta</i> **
7	~ 40	<i>Parmelia caperata</i> , <i>Parmelia tiliacea</i> , développés sur tout le tronc. <i>Usnea muricata</i> .

Tabl. II - Echelle qualitative pour l'estimation de la pollution hivernale dans la région lyonnaise avec les lichens épiphytes des arbres à écorce eutrophisée (BELANDRIA et ASTA, 1986).

Zone	SO <sub>2</sub> (enug/m <sup>3</sup> )	Espèces caractéristiques
0-1	> 170	<i>Desmococcus viridis</i> sur tout le tronc.
2-3	125-150	<i>Lecanora conizaeoides</i> , <i>Lecanora expallens</i> , <i>Buellia punctata</i> , <i>Lepraria</i> <i>latebrarum</i> .
4	~ 70	<i>Lecidella elaeochroma</i> , <i>Hypocenomyce scalaris</i> ** et <i>Xanthoria parietina</i> apparaissent à la base.
5	~ 60	<i>Xanthoria parietina</i> bien développé, <i>Physcia adscendens</i> , <i>Phaeophyscia</i> <i>orbicularis</i> , <i>Physcia tenella</i> , <i>Ramalina farinacea</i> *, <i>Opegrapha vulga-</i> <i>ta</i> *, <i>Physconia grisea</i> ; <i>Candelariella xanthostigma</i> .
6	~ 50	<i>Physconia pulveracea</i> , <i>Parmelia acetabulum</i> , <i>Xanthoria polycarpa</i> *, <i>Ramalina fastigiata</i> **.
7	~ 40	<i>Physcia aipolia</i> abondant, <i>Parmelia perlata</i> , <i>Candelaria concolor</i> *, <i>Caloplaca cerina</i> , <i>Caloplaca pyracea</i> **.

\* espèces rares dans la région étudiée.

- *Candelariella xanthostigma* accompagne souvent les *Physcia* dans les zones éloignées des foyers de pollution, ce qui a permis de l'étalonner en zone 5 (teneur en  $\text{SO}_2$  de  $60 \mu\text{g} / \text{m}^3$ );

- *Caloplaca pyracea*, lichen très nitrophile, souvent présent avec *Caloplaca cerina*, peut être rattaché à la zone de pollution 7 ( $40 \mu\text{g} / \text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$ );

- Compte tenu du fait que les espèces du genre *Usnea* (*U. florida*, *U. ceratina*, *U. sorediifera*, ...) sont étalonnées en zone 8, nous nous sommes permis de situer *Usnea muricata* dans cette zone;

- *Lepraria latebrarum* est, comme nous l'avons déjà dit, une espèce à large répartition géographique. Elle diffère en ce sens tout à fait de *Lepraria incana* qui, par ailleurs, n'a jamais été trouvé dans les mêmes emplacements.

*Lepraria latebrarum* pousse sur les deux types d'écorce et apparaît beaucoup plus poléotolérant que *L. incana*.

Ces faits nous autorisent à placer *Lepraria latebrarum* dans la zone où la pollution est de  $125-150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

4 - Par contre, *Lepraria incana* apparaît dans les régions plus éloignées des zones de pollution et nous l'avons étalonné non dans la zone 3 comme les précédents, mais dans la zone 4.

De même, nous proposons d'étalonner *Parmelia acetabulum*, espèce rencontrée dans les mailles éloignées de l'agglomération lyonnaise, dans la zone 6 ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$ ) et non dans la zone 5 (LEROND, 1981; DERUELLE, 1983).

Afin d'homogénéiser les résultats et permettre une comparaison avec les travaux exécutés antérieurement (DERUELLE, 1983), nous avons opté pour une carte établie selon la méthode classique de cartographie où les coupures sont délimitées par les méridiens et les parallèles (CARTAN et GODRON, 1978).

La carte réalisée est donc divisée en une grille de 64 mailles de  $3,5 \times 5 \text{ km}$ .

Les zones de pollution ont été reconnues allant de  $40$  à  $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$  (Fig. 1). La zone la plus atteinte correspond au coeur de Lyon, Villeurbanne, Bron et Vénissieux.

A propos de cette carte, on peut émettre plusieurs remarques :

1°) Tout d'abord, il n'a pas été possible de retrouver les zones 9 et 10 d'HAWKSWORTH et ROSE, la surface prospectée étant insuffisamment étendue pour atteindre des régions entièrement dénuées de pollution.

2°) D'autre part, si l'on peut remarquer des zones de pollution plus ou moins concentriques par rapport au centre de Lyon, ces zones ne sont pas circulaires, mais allongées dans le sens nord-sud et suivant la forme du relief et des vallées.

Cette forme d'extension de la pollution peut s'expliquer par l'action des vents dominants : vent du nord dans la vallée de la Saône, vent du sud dans la vallée du Rhône. Les vents d'ouest et d'est, moins importants, semblent moins influencer la diffusion de la pollution.

3°) Enfin, nous avons pensé, a priori, que la région du couloir de la chimie serait très pauvre en lichens. Nous constatons que ce n'est pas la région la plus pauvre, une grande partie de cette zone présentant une pollution estimée à  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Par contre cette région est coincée au nord et au sud entre deux zones de plus forte pollution : sud de Lyon, Vénissieux, Vernaison au nord, Chasse-sur-Rhône et Loire-sur-Rhône au sud.

Il semble que la pollution émise dans le couloir entre Vernaison et Givors ne stagne pas sur place mais soit balayée, d'une part vers le sud où elle vient butter contre le relief collinéen du sud de Givors et s'engouffrer dans la vallée du Gier, d'autre part, vers le nord où elle se surajoute aux pollutions locales de la zone urbaine de Lyon.

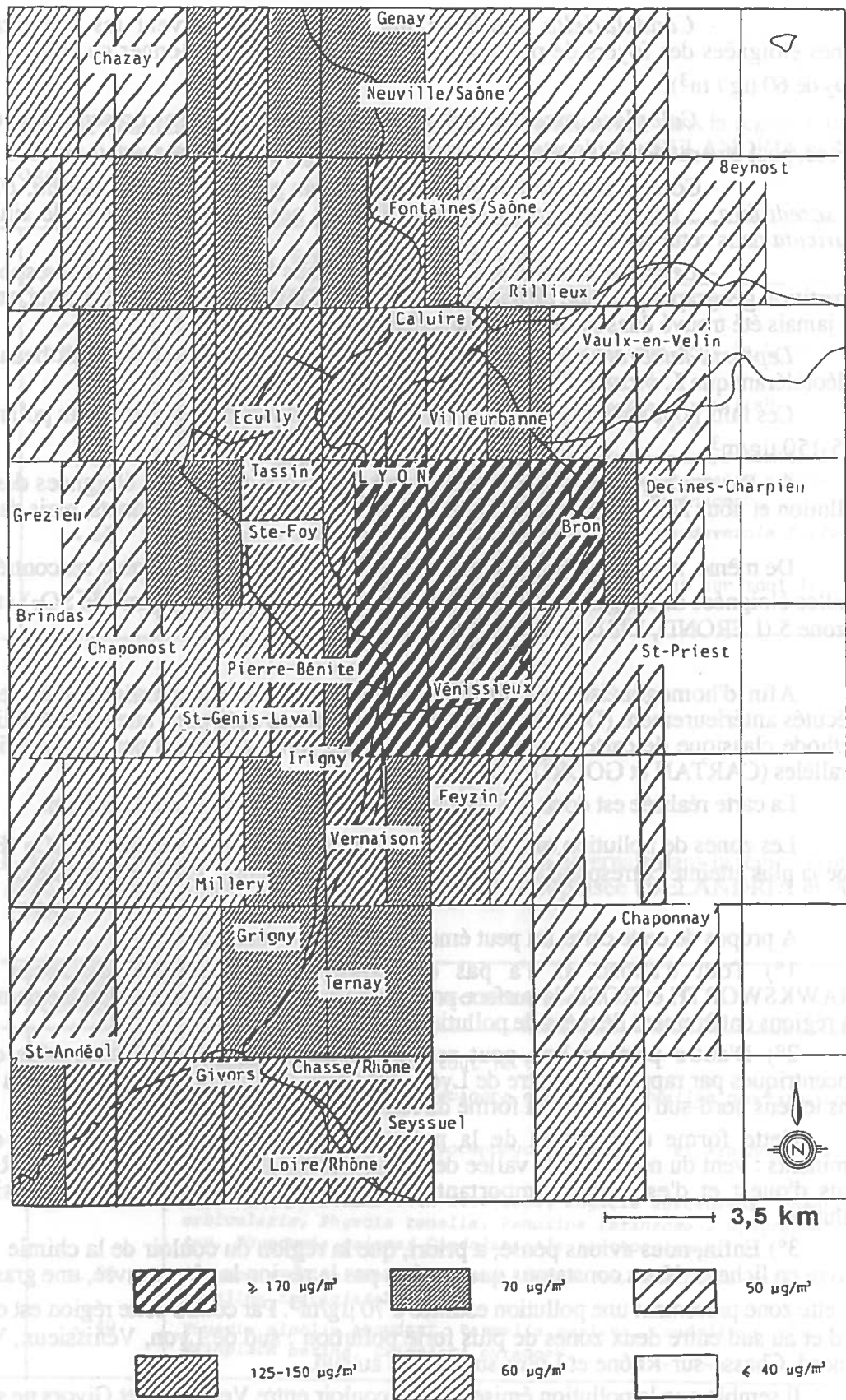


Fig. 1 - Carte d'estimation de la pollution atmosphérique acide par les épiphytes dans la région lyonnaise (1984) (BELANDRIA et ASTA, 1986).

Les mesures physico-chimiques effectuées sur la région lyonnaise montrent une forte chute de la pollution acide depuis 1980 (Fig. 2).

En comparant les résultats obtenus avec les mesures de la pollution atmosphérique, nous avons constaté qu'il n'y avait aucune corrélation entre la pollution estimée à l'aide des lichens et la pollution hivernale de SO<sub>2</sub> des cinq années précédentes (1980 à 1984) (Tabl. III). Par contre, on a mis en évidence une corrélation entre la pollution estimée et la pollution mesurée durant les années antérieures à 1980 (moyennes mensuelles hivernales des années 1971 à 1979). Les chiffres étant beaucoup plus proches de la valeur estimée, nous pouvions alors envisager d'établir une corrélation par test statistique.

La distribution des deux séries de valeurs n'étant pas normale, nous avons choisi un test non paramétrique, le test de SPEARMANN (SNEDECOR et COCHRAN, 1971).

Pour un seuil de signification à 1 % et 27 degrés de liberté, on obtient un coefficient de corrélation de  $0,4692 < 0,470$  (coefficient de corrélation de la table). Il y a donc corrélation entre les deux séries de valeurs.

Par conséquent, nous pouvons en conclure qu'il y a corrélation entre la pollution estimée par les lichens en 1984 et la pollution de fond mesurée en 1971 et 1979. Autrement dit, la végétation lichénique observée en 1984 est encore le reflet de la pollution assez élevée qui a persisté durant les années plus anciennes et non celle, beaucoup plus faible, des années précédant immédiatement la période des observations.

Ces travaux mettaient en évidence, pour la première fois en France et de façon statistique, que la végétation lichénique, une fois atteinte, ne retrouve que lentement ses traits initiaux alors même que les nuisances disparaissent. On donne à ce phénomène le nom d'hystérésis.

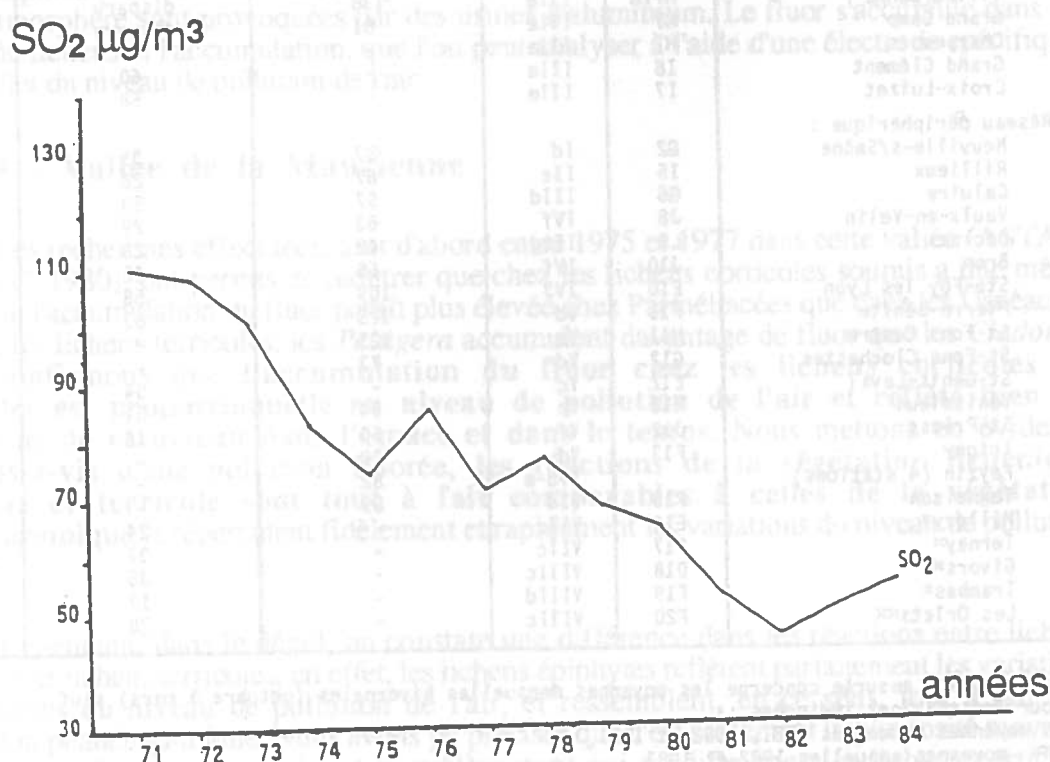


Fig. 2 - Evolution de la pollution "acidité forte" (SO<sub>2</sub>) dans l'agglomération lyonnaise entre 1971 et 1984 (BELANDRIA et ASTA, 1986).

Tabl. III - Comparaison entre la pollution acide estimée (par les lichens) et la pollution mesurée (mesures physico-chimiques) dans la région lyonnaise (BELANDRIA et ASTA, 1986). (Valeurs de SO<sub>2</sub> exprimées en µg/m<sup>3</sup>).

Site du Capteur	Coordonnées		Pollution mesurée (1971 à 1979)	Pollution mesurée (1980 à 1984)	Pollution estimée
	fig. 5	fig. 88			
<b>LYON :</b>					
Comédie-Terraux	G8	IIIId	150	100	170
Croix-Rousse Flammarion	F7	IIIId	82	87	125
Duchère	E7	IIIc	113	71	125
Vaise	E7-8	IIIc	151	82	125
Etats-Unis	H9	IVe	126	91	170
Gerland	F10	IVd	115	86	125
Point du jour	E8-9	IVc	126	72	125
Brotteaux	G8	IIIId	152	disparu	170
Vinatier	I9	IVe	85	disparu	170
Croix-Rousse Mairie	F7	IIIId	156	disparu	125
Perrache	F9	IVd	130	disparu	125
Guillotière	G8	IVd	184	disparu	170
Villette Part-Dieu	H8	IVe	-	83	170
St-Just	F8	IVd	-	87	125
Montchat	H9	IVe	-	77	170
Mermoz	I10	IVe	-	85	60
La Mouche	G10	IVd	-	-	170
<b>VILLEURBANNE :</b>					
Villeurbanne	H-18	IIIe	138	disparu	170
Grand Camp	H7	IIIe	81	disparu	125
Charpennes	H7	IIIe	-	67	125
Grand Clément	I8	IIIe	-	60	170
Croix-Luizet	I7	IIIe	-	58	60
<b>Réseau périphérique :</b>					
Neuville-s/Saône	G2	Id	87	35	70
Rillieux	I5	IIe	67	28	60
Caluire	G6	IIIId	97	53	125
Vaulx-en-Velin	J8	IVf	63	29	70
Décines	L8	IIIg	42	25	50
Bron	J10	IVf	65	42	170
Ste-Foy les Lyon	E10	IV3	109	58	125
Pierre-Bénite	F11	Vd	125	63	170
St-Fons Centre	H11	Ve	125	-	170
St-Fons Clochettes	G12	Vd	77	-	170
St-Genis-Laval	E12	Vc	-	54	125
Vénissieux	H11	Ve	94	51	170
St-Priest	J12	Vf	50	16	50
Irigny	F13	Vd	90	-	70
Feyzin (4 stations)		IVd-e	82	-	70
Vernaizon	F15	VIId	89	-	125
Millery**	E16	VIIc	-	24	70
Ternay**	F17	VIIc	-	37	70
Givors***	D18	VIIIc	-	35	125
Trambas**	F19	VIIIId	-	17	125
Les Orlets***	F20	VIIIc	-	28	125

La pollution mesurée concerne les moyennes mensuelles hivernales (octobre à mars) sauf pour les stations indiquées :

\*\* moyennes annuelles 1981, 1982 et 1983,

\*\*\* moyennes annuelles 1982 et 1983.



Plusieurs raisons peuvent être avancées pour expliquer les difficultés rencontrées par les lichens dans la recolonisation : absence dans le centre de Lyon de phorophytes indigènes dont l'écorce est, en conditions normales, favorable à l'installation de la flore lichénique, transformation des écorces par acidification et dépôt des poussières, pointes de pollution décelables certains jours dans l'agglomération lyonnaise durant certaines périodes d'hiver à cause des mauvaises conditions météorologiques, présence dans la ville d'un mélange de polluants (NO<sub>x</sub>, CO, Pb, etc.) dont on ne connaît pas encore les effets cumulatifs sur la flore lichénique, etc.

Dans les zones les plus atteintes, en plein coeur de Lyon par exemple, c'est seulement dans les stations les plus abritées (espaces verts de la Croix-Rousse, Parc de la Tête d'Or) que l'on a pu observer de jeunes thalles lichéniques en développement (*Parmelia*, *Physcia*, ...).

Il serait tout à fait intéressant de reconduire maintenant une étude similaire pour observer l'évolution de la végétation lichénique.

Plus récemment, la cartographie de la pollution acide, établie à l'aide des lichens sur le campus universitaire de Grenoble, a permis de découvrir la présence de nombreux thalles d'*Usnées* de quelques centimètres de longueur (BENATT, 1990). La réapparition d'espèces sensibles à la pollution acide confirme davantage encore que la recolonisation par les lichens en zones dépolluées est en train de s'effectuer.

## II - LES LICHENS ET LA POLLUTION FLUOREE DANS LES VALLEES ALPINES

Les premières recherches dans ce domaine ont porté sur la détection fluorée dans des vallées alpines (Maurienne, Val d'Arly et vallée de la Romanche) où des émissions de fluor dans l'atmosphère sont provoquées par des usines d'aluminium. Le fluor s'accumule dans les thalles de lichens et l'accumulation, que l'on peut analyser à l'aide d'une électrode spécifique, est le reflet du niveau de pollution de l'air.

### 1 - Vallée de la Maurienne

Les recherches effectuées, tout d'abord entre 1975 et 1977 dans cette vallée (ASTA et GARREC, 1980), ont permis de montrer que chez les lichens corticoles soumis à une même pollution, l'accumulation du fluor paraît plus élevée chez *Parméliacées* que chez les *Usnéacées* et, chez les lichens terricoles, les *Peltigera* accumulent davantage de fluor que les *Cladonia*. Nous confirmons que l'accumulation du fluor chez les lichens corticoles ou terricoles est proportionnelle au niveau de pollution de l'air et reflète bien les variations de ce niveau dans l'espace et dans le temps. Nous mettons en évidence que, vis-à-vis d'une pollution fluorée, les réactions de la végétation lichénique corticole et terricole sont tout à fait comparables à celles de la végétation phanérogamique et répercutent fidèlement et rapidement les variations du niveau de pollution de l'air.

Cependant, dans le détail, on constate une différence dans les réactions entre lichens corticoles et lichens terricoles; en effet, les lichens épiphytes reflètent parfaitement les variations saisonnières du niveau de pollution de l'air, et ressemblent, en ce sens, tout à fait à la végétation phanérogamique. Nous avons pu préciser que c'est seulement la pluviosité moyenne au cours des deux mois précédant le prélèvement qui modifie chez les lichens corticoles l'accumulation du fluor d'origine atmosphérique (il y a une augmentation significative de la concentration en fluor dans les lichens jusqu'à une pluviosité de 50 mm/mois et une diminution de la concentration pour une pluviosité supérieure à 50 mm/mois). Par contre, les lichens

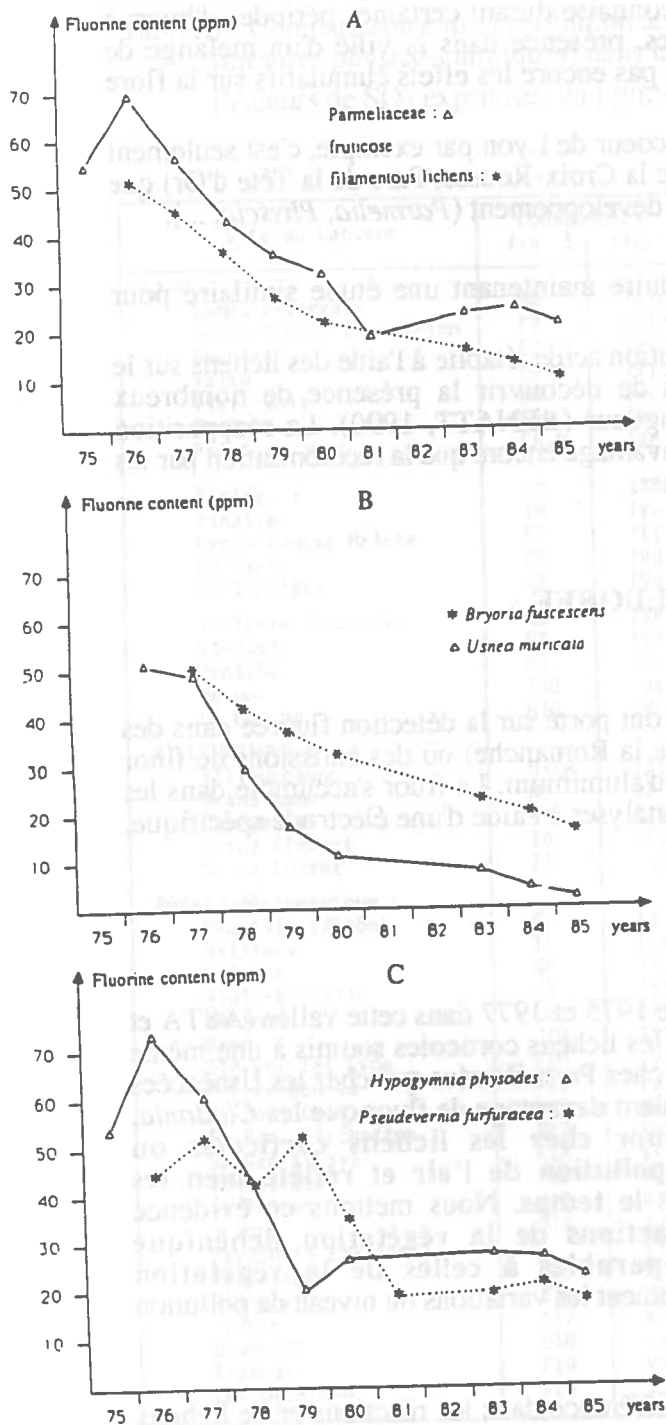


Fig. 3, A, B et C - Annual successive changes in the fluorine content (ppm) for corticolous lichens in Maurienne (BELANDRIA, ASTA et GARREC, 1991).

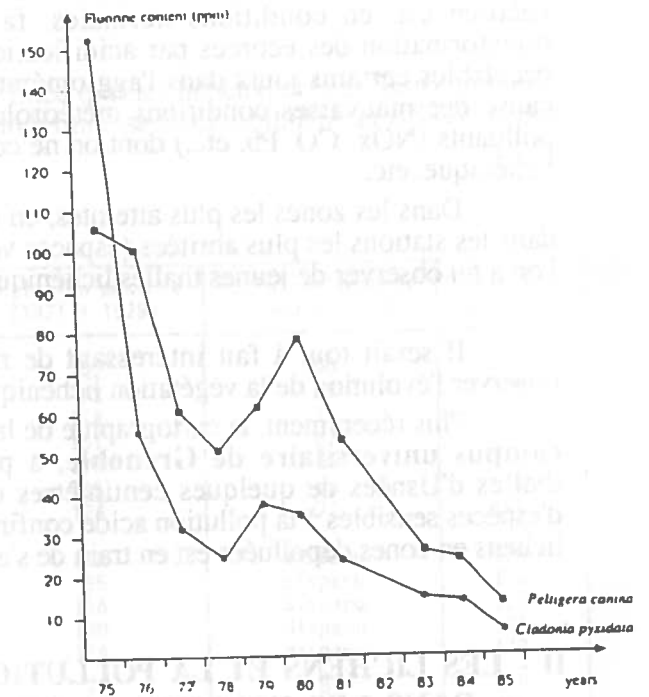


Fig. 4 - Annual successive changes in fluorine content (ppm) for terricolous lichens in Maurienne (BELANDRIA, ASTA et GARREC, 1991).

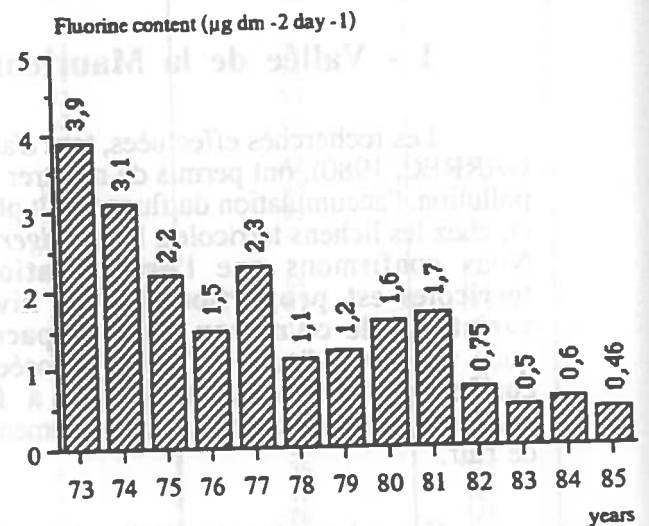


Fig. 5 - Maurienne Valley. Successive changes in the average atmospheric fluorine content measured on lime-paper (average on 14 posts between 1973 and 1985) (Documents INRA). (BELANDRIA, ASTA et GARREC, 1991).

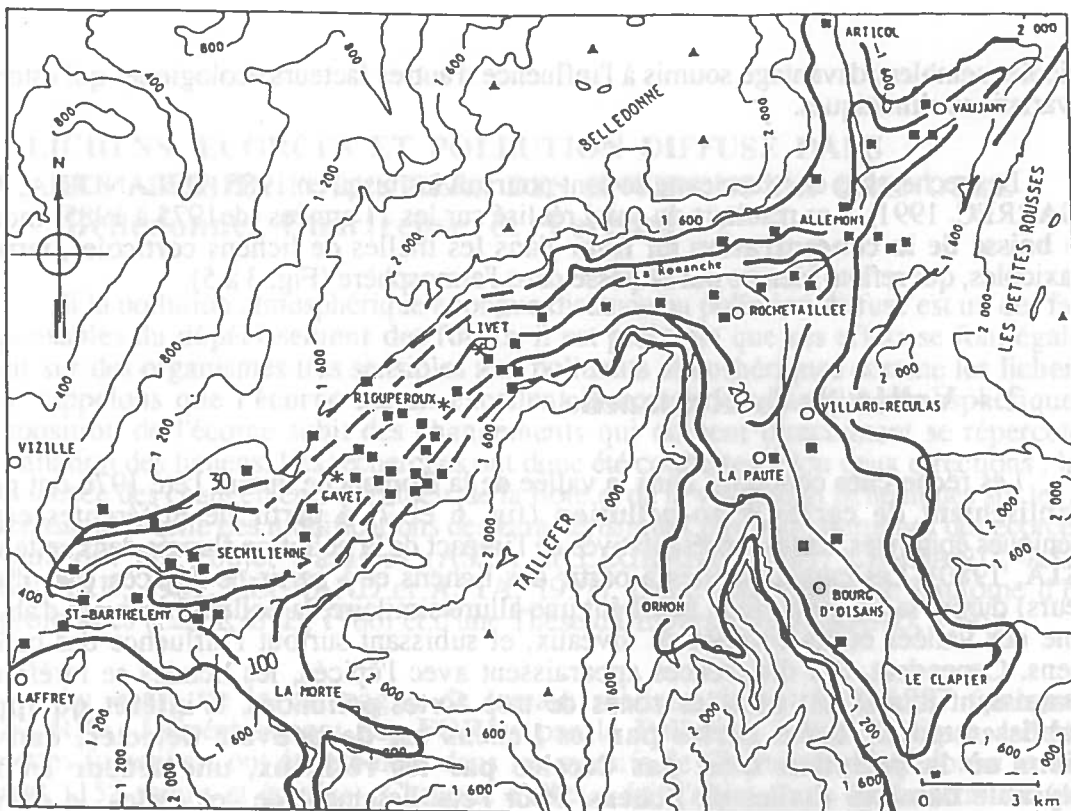


Fig. 6 - Vallée de la Romanche : carte de la pollution fluorée (1976) établie à partir des concentrations en ion fluor de *Xanthoria parietina* (ASTA, 1980).  
 = stations de prélèvement; \* usines émettrices de fluor; isopols 30, 100 et 200 ppm.

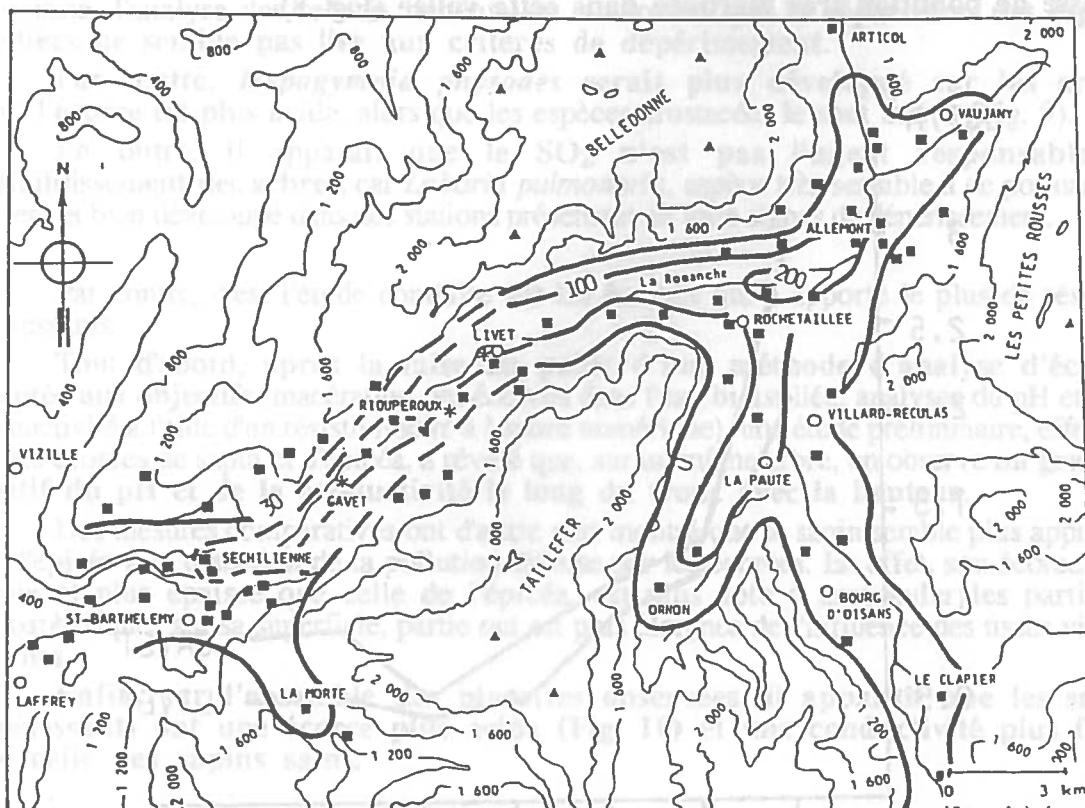


Fig. 7 - Vallée de la Romanche : carte de la pollution fluorée (en 1984) établie à partir des concentrations en ion fluor dans les thalles de *Xanthoria parietina* (BELANDRIA et ASTA, 1987).  
 = stations de prélèvement; \* usines émettrices de fluor; isopols 30, 100 et 200 ppm.

terricoles semblent davantage soumis à l'influence d'autres facteurs écologiques qui estompent les variations climatiques.

Les recherches en Maurienne se sont poursuivies jusqu'en 1985 (BELANDRIA, ASTA et GARREC, 1991). Les résultats du suivi réalisé sur les 11 années (de 1975 à 1985) montrent une baisse de la concentration en fluor dans les thalles de lichens corticoles, terricoles et saxicoles, qui reflète bien ce qui se passe dans l'atmosphère (Fig. 3 à 5).

## 2 - Vallée de la Romanche

Les recherches conduites dans la vallée de la Romanche durant l'été 1976 ont permis l'établissement de cartes d'iso-pollution (fig. 6 et 7) à partir de différentes espèces lichéniques épiphytes, cartes représentatives de l'impact de la pollution fluorée dans cette vallée (ASTA, 1980). Les cartes établies à partir des lichens et à partir de l'épicéa (par d'autres auteurs) durant la même période montrent une allure similaire, la pollution suivant d'abord la forme des vallées et les courbes de niveaux, et subissant surtout l'influence des courants aériens. Cependant, des différences apparaissent avec l'épicéa, les lichens se raréfiant ou disparaissant totalement dans les zones de trop fortes pollutions. L'intérêt qu'apporte l'établissement de telles cartes par les lichens est de pouvoir détecter, dans des régions où la pollution n'est pas décelée par les résineux, une teneur en fluor analysable dans les thalles de lichens. Pour l'établissement de ces cartes, le choix de l'espèce lichénique est important, les lichens présentant des sensibilités au fluor différentes.

Un contrôle de la cartographie effectué durant l'été 1984 à partir de *Xanthoria parietina* (BELANDRIA, 1986; BELANDRIA et ASTA, 1987) montre dans la vallée de la Romanche une diminution du taux de fluor dans les thalles. Cette baisse est en relation avec la baisse de pollution très marquée dans cette vallée (Fig. 8).

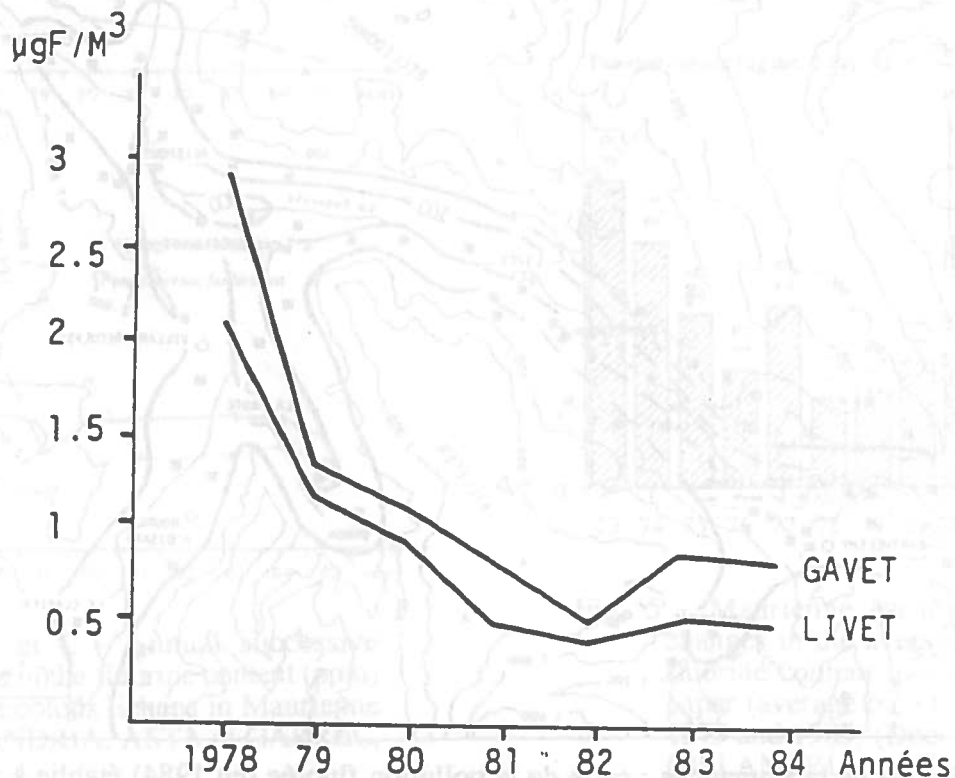


Fig. 8 - Evolution du niveau de pollution dans la vallée de la Romanche exprimé en  $\mu\text{gF}/\text{m}^3$  d'air sur 2 postes (Document INRA, 1984) (BELANDRIA et ASTA, 1987).

### III -LICHENS, ECORCES ET POLLUTION DIFFUSE DANS LES MASSIFS FORESTIERS DES ENVIRONS DE GRENOBLE (Belledonne, Chartreuse et Vercors)

Si la pollution atmosphérique à longue distance ou pollution diffuse est un des facteurs responsables du dépérissement des forêts, il est probable que ses effets se font également sentir sur des organismes très sensibles aux polluants atmosphériques comme les lichens. De plus, rappelons que l'écorce est un excellent indicateur de l'acidité atmosphérique et la composition de l'écorce subit des changements qui doivent directement se répercuter sur l'installation des lichens. Les recherches ont donc été conduites selon deux directions : la mise en évidence des changements éventuels de la flore et de la végétation lichéniques sur les arbres dépérissants et celle des modifications des caractéristiques physico-chimiques des écorces. Ces travaux ont fait l'objet d'articles (ASTA et LEGRAND, 1987; LEGRAND, ASTA et GOUDARD, 1989; LEGRAND et ASTA, 1991), d'une soutenance de Diplôme d'Etudes Approfondies (LEGRAND, 1986) et d'une Thèse d'Université (LEGRAND, 1991).

Au cours de la campagne de terrain réalisée durant l'été 1987 (programme DEFORPA, DÉpérissement des FORêts par la Pollution Atmosphérique, Isère), 162 placettes forestières ont été étudiées dans les massifs de Chartreuse, Belledonne et Vercors (soient 1155 sapins et épicéas). Chacune d'elles a fait l'objet d'une étude détaillée (relevés pédologiques, floristiques, notations concernant les critères d'appréciation du dépérissement des arbres), ainsi que de relevés de la végétation lichénique et de prélèvements d'écorces.

Contrairement à ce qui a été montré dans les études de détection de pollution de proximité, l'analyse des relevés lichéniques montre ici que la répartition des espèces étudiées ne semble pas liée aux critères de dépérissement.

Par contre, *Hypogymnia physodes* serait plus développé sur les arbres dont l'écorce est plus acide, alors que les espèces crustacées le sont moins (Fig. 9).

En outre, il apparaît que le  $SO_2$  n'est pas l'agent responsable de l'affaiblissement des arbres, car *Lobaria pulmonaria*, espèce très sensible à ce polluant est présent et bien développé dans des stations présentant de forts signes de dépérissement.

Par contre, c'est l'étude conduite sur les écorces qui a apporté le plus de résultats intéressants.

Tout d'abord, après la mise au point d'une méthode d'analyse d'écorces adaptée aux objectifs (macération des écorces dans l'eau bidistillée; analyses du pH et de la conductivité à l'aide d'un résistivimètre à lecture numérique), une étude préliminaire, effectuée sur les écorces de sapin et d'épicéa, a révélé que, sur un même arbre, on observe un gradient positif du pH et de la conductivité le long du tronc avec la hauteur.

Des mesures comparatives ont d'autre part montré que le sapin semble plus approprié que l'épicéa à la détection de la pollution diffuse par les écorces. En effet, son écorce, plus stable et plus épaisse que celle de l'épicéa, est plus apte à accumuler les particules atmosphériques sur sa superficie, partie qui est plus éloignée de l'influence des tissus vivants internes.

Enfin, sur l'ensemble des placettes observées, il apparaît que les sapins dépérissants ont une écorce plus acide (Fig. 10) et une conductivité plus faible que celle des sapins sains.



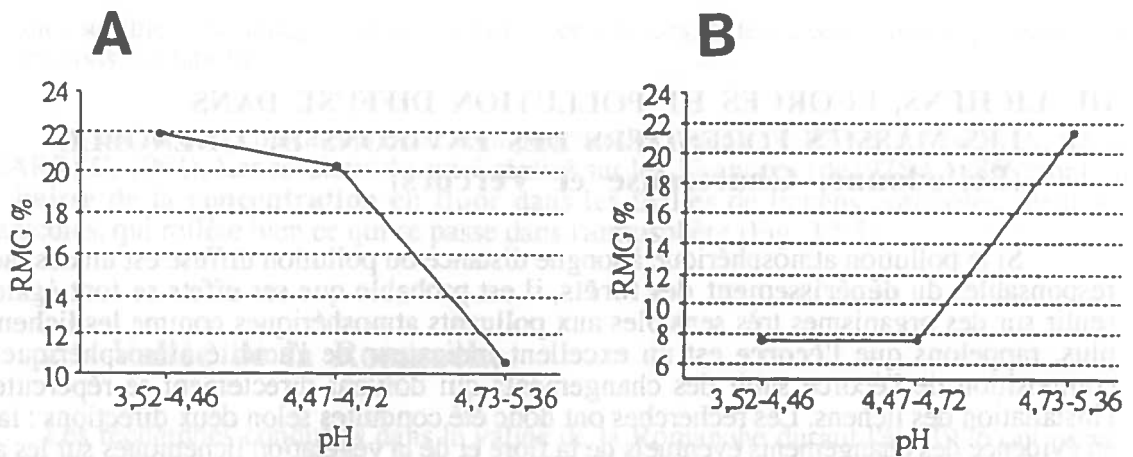


Fig. 9, A et B - Relations entre le Recouvrement Moyen Global (RMG) en % et le pH pour *Hypogymnia physodes* (A) et les espèces crustacées (B) (LEGRAND et ASTA, 1991).

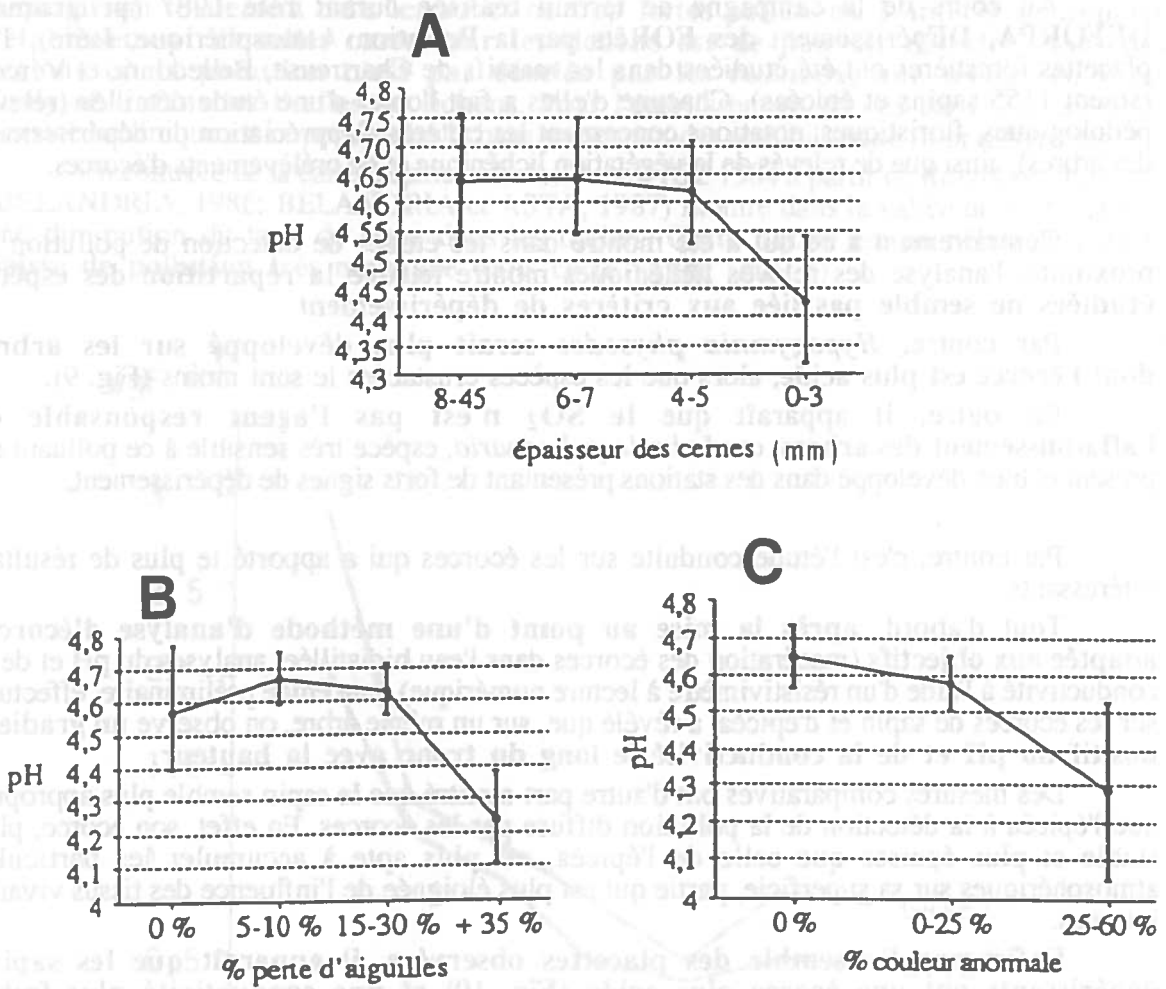


Fig. 10, A, B et C - Relations entre acidité de l'écorce chez le sapin et les critères de dépérissement : A, épaisseur des trois derniers cernes; B, % perte d'aiguilles; C, % couleur anormale (LEGRAND et ASTA, 1991).

EN CONCLUSION, nous pouvons dire que les lichens ont déjà apporté une large contribution à l'étude de la pollution atmosphérique dans la région Rhône-Alpes. Mais les recherches ne s'arrêtent pas là. Des travaux ont démarré sur la détection de la pollution acide dans l'agglomération grenobloise et celle de la pollution automobile dans la vallée de Chamonix, à proximité du tunnel du Mont-Blanc. En outre, dans le cadre des recherches concernant l'impact des pollutions atmosphériques sur la santé humaine, des projets d'étude sur l'utilisation des lichens dans la détection des métaux lourds et des produits issus du traitement des déchets sont proposés au sein d'autres recherches pluridisciplinaires, regroupant médecins, vétérinaires ..., (Réseau Santé - Déchets, Pôle environnement).

## Références principales

- ASTA, J., 1980.- *Flore et végétation lichéniques des Alpes Nord-Occidentales : écologie, biogéographie, écophysiologie, biodétection de la pollution fluorée*. Thèse d'Etat, Sciences, Univ. Grenoble I, 249 p.
- ASTA, J. et GARREC, J.P., 1980.- Etude de l'accumulation du fluor dans les lichens d'une vallée alpine polluée. *Environm. Poll.*, 21, 267-286.
- ASTA, J. et LEGRAND, I., 1987.- Lichens et dépérissement des forêts. *Actes du 112e Congrès Nat. des Soc. Sav.*, Lyon, 1987, fasc. III, 65-75.
- BELANDRIA, G., 1986.- *Lichens et pollution atmosphérique dans la Région Rhône-Alpes : biodétection de la pollution acide et fluorée, effets des polluants sur la germination des spores*. Thèse d'Université, Biologie, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 160 p.
- BELANDRIA, G. et ASTA, J., 1986.- Les lichens bioindicateurs : la pollution acide dans la région lyonnaise. *Poll. Atm.*, 109, 10-23.
- BELANDRIA, G. et ASTA, J., 1987.- Les lichens bioaccumulateurs : régression de la pollution fluorée dans la vallée de la Romanche (Isère, France). *Bull. Ecol.*, 18, 117-126.
- BELANDRIA, G., ASTA, J. et GARREC, J.P., 1991.- Diminutions of fluorine contents in lichens due to a regression of pollution in an alpine valley (Maurienne, Savoie, France) from 1975 to 1985. *Rev. Ecol. Alp.*, I, 45-58.
- BENATT, B., 1990.- *Estimation de la pollution acide à l'aide de lichens sur le Campus de l'Université de Grenoble*. Mémoire de stage de Maîtrise, 33 p., 30 annexes.
- CARTAN, M. et GODRON, M., 1978.- *Inventaires et cartographies de répartition d'espèces*. Faune et Flore, Paris, C.N.R.S., 127 p.
- DERUELLE, S., 1983.- *Ecologie des lichens du Bassin Parisien. Impact de la pollution atmosphérique (engrais, SO<sub>2</sub>, plomb)*. Thèse Etat, Paris, 359 p.

- HAWKSWORTH, D.L. et ROSE, F., 1970.- Qualitative scale for estimation sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227 (5254), 145-148.
- LEGRAND, I., 1986.- *Contribution à l'étude des relations entre lichens et dépérissement des Forêts*. D.E.A. "Géographie, Ecologie et Aménagement des montagnes", Univ. Grenoble I, 68 p.
- LEGRAND, I., 1991.- *Végétation lichénique corticole et caractéristiques physico-chimiques des écorces : relations avec la symptomatologie du dépérissement des forêts des Alpes du Nord*. Thèse d'Université, Biologie, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 225 p.
- LEGRAND, I. et ASTA, J., 1991.- Lichens épiphytes et caractéristiques physico-chimiques des écorces : relations avec le dépérissement des forêts dans les Alpes du Nord. *116e Congrès National des Sociétés Savantes*, Chambéry, Science, 1-18.
- LEGRAND, I., ASTA, J. et GOUDARD, Y., 1989.- *Flore lichénique épiphyte et dépérissement : analyses préliminaires et premières indications*. Journées de travail DEFORPA, 10.01 - 10.04, 2 et 3 mars 1989, Nancy.
- LEROND, M., 1981.- *Les lichens épiphytes en Normandie orientale. Distribution, sociologie et application à la cartographie de la pollution atmosphérique*. Thèse Doctorat, Rennes, 165 p.
- SNEDECOR, G.W. et COCHRAN, W.G., 1971.- *Méthodes statistiques*. Iowa State Univ. Press, Ed. française, 649 p.

## DES CAPTEURS DE LA POLLUTION A L'APPROCHE FLORISTIQUE DANS LA BIOINDICATION LICHENIQUE

par Chantal VAN HALUWYN et Bruno DE FOUCAULT  
Département de Botanique et Cryptogamie - Faculté de Pharmacie 59 006 LILLE

**1973** : Première application en France (Delzenne-Van Haluwyn) de la méthode anglaise d'Hawksworth et Rose, considérée véritablement comme le modèle des méthodes qualitatives. Nous l'exploitons pour les départements du Nord, du Pas-de-Calais et de la Somme, précédant M. Bon (1974) et M. Lerond (1981) qui l'ont utilisée pour la Picardie et la Normandie Orientale.

**1978** : A partir de cette date, quelques réajustements sont apportés à cette méthode.

**Mais pourquoi apporter des réajustements à une méthode si largement utilisée dans le nord-ouest de la France et dans le nord-ouest de l'Europe ?**

**CHANTAL VAN HALUWYN** - Tout simplement parce qu'il s'avère indispensable pour bien utiliser cet outil, de tenir compte des spécificités régionales : géologie, climatologie, nature des polluants. Aussi, loin de nous l'idée de discréditer la méthode de Hawksworth et Rose ! Au contraire, en l'adaptant, nous avons voulu renforcer la crédibilité des méthodes qualitatives, pour mieux appréhender les phénomènes de pollution et permettre ainsi un partenariat très large avec les gestionnaires des réseaux de mesures. Il nous importait, en effet, d'apporter une réponse aux arguments qu'on nous objectait très souvent, tels: "*Vous appliquez une méthode initialement établie pour la Grande-Bretagne et vous la transposez dans d'autres régions où le climat et la flore ne sont pas forcément identiques.*"

**Comment imaginer ce réajustement ?**

A l'époque, le thème principal des recherches du Laboratoire de Botanique de la Faculté de Pharmacie de Lille était la phytosociologie, qui consiste à étudier la manière dont les plantes vivent ensemble. Nous avons donc eu l'idée de transposer la méthodologie phytosociologique aux communautés lichéniques, et forts de notre argument, c'est-à-dire le fait que l'observation d'une communauté d'espèces nous renseignerait mieux que l'étude des espèces prises isolément, nous avons démarré nos travaux en 1978 (Delzenne-Van Haluwyn) sur le Nord de la France, suivis en 1981 par Michel Lerond qui s'est intéressé, lui, à la Normandie Orientale. Puis nous avons

étendu notre étude à l'ensemble de la moitié-Nord de la France en 1986, dans le cadre d'un contrat obtenu avec le Ministère de l'Environnement. L'objectif, qui visait à établir la cartographie de la qualité de l'air dans cette région, nous a amené à lancer entre 1983 et 1986 une large campagne de relevés.

Voici comment nous avons raisonné : en effet, si on regarde un tronc colonisé par les lichens, on peut parler d'un paysage lichénique : il est constitué par des formes, qui diffèrent selon leur localisation sur le tronc, l'exposition de l'arbre, le ruissellement des pluies. Effectivement, la végétation ne sera pas forcément la même à la base qu'en hauteur, d'où l'intérêt de respecter un protocole bien précis en limitant l'étude à une hauteur déterminée.

Ainsi, si on se dirige d'une zone dont l'atmosphère est très pure, vers une zone urbaine et industrialisée fortement polluée, on constate que le paysage du tronc perd progressivement sa luxuriance et sa beauté. On dit qu'il se démantèle, mais il le fait selon un procédé bien précis, pour arriver finalement, comme le signalait le Professeur Seaward précédemment, à un paysage d'un vert monotone, constitué en milieu fortement industrialisé, soit par des algues, soit par le lichen très tolérant : *Lecanora conizaeoides*.

A l'échelle des départements du Nord et du Pas-de-Calais, on constate donc un démantèlement progressif au niveau des formes, un appauvrissement en espèces, qu'il importe de transcrire au moyen d'un outil: le relevé phytosociologique. Comme Bruno De Foucault vous l'exposera tout à l'heure, on observe que ce démantèlement du paysage lichénique suit une progression très hiérarchisée : on passe peu à peu des individus caractéristiques d'associations à ceux de l'unité hiérarchique immédiatement supérieure pour arriver à des communautés entièrement vertes dominées par l'algue *Pleurococcus viridis*.

Dans le Nord-Pas de Calais, nous sommes arrivés ainsi à 7 gradients, résultat également obtenu par Michel Lerond en Normandie Orientale et également mis en évidence pour l'ensemble de la moitié nord de la France. Au sein de chacun de ces "escaliers", nous avons retenu des espèces macroscopiquement bien déterminables par des personnes qui ne sont pas forcément initiées à la lichénologie et à partir de là, nous avons bâti une échelle de corrélation.

Il s'agit d'une échelle de 7 zones, A, B, C, D, E, F, G. Afin d'éviter toute ambiguïté avec la méthode de Hawksworth et Rose (de 0 à 10), nous avons utilisé des lettres, de A à G, A étant la zone la plus polluée, G la plus pure. Il est intéressant d'observer que nous sommes arrivés à une très grande analogie de corrélation entre notre échelle et celle de Hawksworth et Rose (nous en avons, à la limite, presque retrouvé le brevet d'invention !). Par contre, cela ne cadrerait plus au niveau de la quantification, et nous en reparlerons après l'argumentation de Bruno de Foucault.

**BRUNO DE FOUCAULT** - Je ne suis pas lichénologue, mais phytosociologue et au cours de mes recherches, je me suis demandé si les fondements que j'avais établis pour la sociologie des plantes supérieures notamment, pouvaient s'appliquer à la phytosociologie lichénique et apporter quelque chose à la bioindication qualitative. Il me semblait que par ce biais, on devait réussir à transformer l'implicite (chez les auteurs



anglais) en explicite, afin que d'autres chercheurs puissent appliquer efficacement cette méthode dans d'autres régions.

**Je suis donc parti de la notion de capteur de pollution** : le capteur est un détecteur matériel, réglé pour quantifier les types donnés de polluants. Il fournit une approche quantitative de la bioindication parce que les mesures qu'il donne sont des nombres positifs ou nuls avec pour unité le microgramme par m<sup>3</sup>. La loi physique quantitative associe donc à chaque mesure la déviation d'une aiguille si le capteur possède une aiguille avec un écran. On peut donc définir une fonction quantitative de la pollution en associant les deux nombres.

De là, je passe à la physique de la bioindication, nettement plus qualitative parce qu'elle permet, par rapprochement, de préciser les homologues entre la physique quantitative du capteur et la physique qualitative de la bioindication. Ici, le détecteur n'est plus un appareil physique, c'est un concept nettement plus formel, l'ensemble des êtres vivants qu'on appelle les lichens.

Le phénomène élémentaire de cette physique qualitative est seulement une partie de cette flore lichénique, soit l'ensemble des lichens qui arrivent à vivre dans des conditions données de vie. Il se concrétise sur le tronc par une communauté lichénique élémentaire et le lichéno-sociologue (sociologue des lichens) peut définir sur des critères objectifs les limites de cette communauté élémentaire qu'il va étudier.

L'acte de mesure qualitative est la liste des espèces présentes sur ce tronc, autrement dit le relevé de la végétation. Mais ce relevé n'est plus un nombre, c'est une liste d'espèces. On passe donc à une physique qualitative, mais parfaitement homologue de la physique quantitative bien connue.

Le traitement statistique des relevés aboutit à des syntaxons, c'est-à-dire des types de communautés définis sur des bases floristiques, équivalents à des classes de mesures quantitatives. Si la lichénologie est une physique quantitative, c'est parce qu'elle s'efforce, comme toute autre phytosociologie, de rapprocher de chaque syntaxon un ensemble de mesures, qui sont ici des nombres. On associe donc du qualitatif et du quantitatif pour définir des lois physiques.

**Autre concept épistémologique très important à la base de cette réflexion** : la notion de système. Dans bien des disciplines, l'approche systémique des phénomènes a pris un essor considérable parce que c'est une voie royale pour bien poser les problèmes et pour les résoudre. Un système est un ensemble d'éléments en inter-relation. On peut parler ici de système sociolichénique, dont les éléments seront les types de communautés (syntaxons) et les relations seront de nature écologique ; la pollution sera l'une de ces relations unissant des communautés lichéniques.

En matière d'approche systémique, un problème important réside dans la limite d'un système. On ne peut pas tout étudier : il faut délimiter de façon pratique un système de façon à avoir une recherche efficace. Parmi les critères de délimitation du système sociolichénique, on s'intéresse d'abord aux végétations épiphytiques. On retient ensuite un critère écologique à l'intérieur de notre système pour le délimiter encore un peu plus : on travaille d'une part dans une ambiance climatique homogène, et d'autre part, on considère un critère de substrat (on essaie de travailler sur un substrat homogène). C'est une manière d'objectiver ce que Hawksworth et

Rose avaient bien senti : l'opposition entre les écorces acides et les écorces eutrophisées. Les autres facteurs écologiques deviennent évidemment des éléments de variation à l'intérieur du système, soit des relations intra-systémiques.

Comme en domaine quantitatif, on peut considérer la variation d'un facteur causal (comme par exemple la variation de la pollution), et on cherche à y associer la variation des faits (en l'occurrence, la variation de la végétation lichénique). Cette végétation lichénique, qui varie au fur et à mesure que la pollution croît, constitue une série de végétation. Elle met en relation les communautés végétales les unes avec les autres. Cette notion de série, qui est éminemment qualitative, généralise à ce domaine qualitatif la notion de fonction d'une variable quantitative classique en physique. Il y a plusieurs moyens de représenter une série et, notamment, une représentation purement floristique (zones A à G). Voici ici nos communautés végétales et les coefficients de présence (l'équivalent qualitatif d'une mesure moyenne en quantitatif). On établit une correspondance entre croissance de la pollution et série de communautés végétales. Les caractères de cette série sont d'abord une forme en escalier, avec deux espèces qui disparaissent, bientôt suivies par deux autres, puis d'un certain nombre, jusqu'à ce qu'il ne subsiste plus qu'une seule espèce. Une communauté végétale peut même, dans les cas les plus extrêmes, se limiter à une seule espèce.

Donc, les lois qualitatives de cette physique consistent à associer à chaque communauté végétale, une fourchette de taux de pollution, éventuellement par étalonnage en utilisant des détecteurs physiques classiques.

Mais comment passer de cette approche phytosociologique qualitative à l'approche floristique d'Hawksworth et Rose ?

Pour un non-initié, il s'avère difficile de reconnaître toutes les espèces. On choisit donc parmi elles, celles qui caractérisent chaque zone. On va considérer que la zone G est caractérisée par ces deux espèces, la zone F uniquement par celles-là, etc... A chaque zone, on peut ainsi associer un ensemble d'espèces et on retrouve la méthode floristique de Hawksworth et Rose explicitée.

Quelles sont les conclusions de cette étude ?

Tout d'abord, le nombre de zones définies ainsi objectivement est moins élevé que le nombre de zones définies initialement par Hawksworth et Rose. On arrive souvent à 7 zones, au lieu de 11.

Ensuite, on note une meilleure définition des zones en utilisant la présence-absence des espèces et non plus comme dans la méthode initiale, le début de développement ou le plein développement, ce qui est quelquefois une notion assez subtile à saisir.

Enfin, la méthode phytosociologique permet de sélectionner dans l'ensemble des espèces différentielles celles qui sont les plus faciles à reconnaître pour des opérateurs non spécialisés en lichénologie (par exemple, les agents forestiers comme Michel Lerond l'a évoqué tout à l'heure).

**CHANTAL VAN HALUWYN** - Replaçons-nous au niveau quantitatif: nous avons l'impression d'avoir retrouvé le brevet d'invention de la méthode de Hawksworth et Rose, mais nous avons voulu aller plus loin, en démontrant que cette échelle avait des bases solides.

Notre échelle qualitative comporte 7 zones, traduites quantitativement en microgrammes par m<sup>3</sup>, par la moyenne annuelle des teneurs en SO<sub>2</sub>. En ce qui concerne l'ensemble de la moitié-Nord de la France, nous avons mis en évidence que les zones A à E avaient des moyennes annuelles supérieures à 30 microgrammes alors que les moyennes des zones F et G étaient inférieures à 30 microgrammes. Pourquoi sommes-nous arrivés à ces deux zones, dans un territoire aussi large ? Simplement par souci de rigueur, en constatant que la comparaison de toutes les données fournies par les réseaux de mesures de l'ensemble de la moitié nord de la France nous donnait le résultat suivant : par exemple une zone E, ne correspondait pas forcément à la même moyenne en SO<sub>2</sub>, selon la région où on la trouvait.

Quant au phénomène d'hystérésis, on ne retrouve plus les teneurs données par les anglais en 1970, notamment en ce qui concerne le SO<sub>2</sub> : en 1970, celui-ci était véritablement le polluant majeur, le traceur-type de la pollution industrielle. Actuellement ce n'est plus le cas, le SO<sub>2</sub> a nettement diminué, mais il faut compter avec d'autres polluants, tels les oxydes d'azote (qui ne diminuent pas, dans certaines régions ils ont tendance à augmenter), les hydrocarbures, l'ozone, les métaux lourds. Il s'avère donc difficile actuellement de se limiter au seul SO<sub>2</sub>, en matière de quantification.

Lorsqu'on effectue un relevé sur le tronc d'un arbre, on considère une communauté lichénique face à son environnement, ce qui permet de globaliser les événements relatifs au milieu ambiant. Michel Lerond nous a parlé tout à l'heure d'une échelle d'estimation de la qualité du milieu et de la qualité de l'air. Dans une région un peu plus réduite géographiquement, on peut se permettre de quantifier chaque "niveau qualitatif". Mais pour la moitié-Nord de la France, nous avons préféré être plus rigoureux et nous contenter d'une quantification aussi arbitraire (< à 30 microgrammes / > à 30 micro-grammes). Nous disposons donc d'un atout très important : une échelle de 7 zones, et une échelle de qualité globale de mesure, car les lichens ont une approche holistique des phénomènes de pollution.

Comment s'inscrit cette méthodologie par rapport aux méthodologies existantes ? Celles dont nous disposons actuellement sont des méthodes qualitatives et quantitatives et l'approche phytosociologique peut apparaître comme un compromis entre les deux.

La méthode de Hawksworth et Rose, permet d'avoir une cartographie de la pollution en valeur absolue, puisque chaque zone correspond à une teneur bien précise en moyenne hivernale (à l'époque, en SO<sub>2</sub>.) Cette méthodologie, géographiquement limitée au nord-ouest de l'Europe, ne peut, de plus, être appliquée que par des lichénologues, car elle impose la connaissance de 80 espèces différentes, espèces qui ne sont pas toujours faciles à reconnaître pour un non-spécialiste en lichénologie.

La méthode quantitative (comme celle de Leblanc et De Sloover), permet d'obtenir une cartographie de la pollution en valeur relative et nécessite encore d'être extrêmement ferru en lichénologie, puisqu'il faut relever toutes les espèces qui sont présentes sur le tronc. Par contre, on peut

l'appliquer, en respectant le protocole opératoire, quelles que soient la région et la nature du polluant.

Notre objectif était ambitieux : pouvoir cartographier en valeur absolue, sans à priori géographique ou de polluants, et donner la possibilité d'intervenir à des personnels qui ne soient pas forcément compétents en lichénologie.

#### Comment avons-nous atteint cet objectif ?

Dans un premier temps, un lichénologue qui connaît bien la flore lichénique et sait très bien manier l'outil phytosociologique, établit une échelle régionale pour une région donnée. Il s'efforce, à partir des tableaux de démantèlement de la végétation lichénique, d'établir une échelle, grâce à l'emploi volontaire d'espèces faciles à reconnaître. Ainsi, les opérations de suivi pourront être aisément effectuées dans un second temps par une personne rapidement initiée : c'est ce qui se passe actuellement pour les techniciens forestiers en Normandie Orientale. De plus, si le secteur géographique n'est pas trop étendu, on peut se permettre d'étalonner par rapport aux mesures, sachant que l'on dispose d'un cocktail de renseignements. Ce n'est pas toujours forcément la bonne solution que de prendre comme référence un polluant qui est nettement en diminution.

Cette méthodologie est très malléable, c'est-à-dire qu'elle peut s'adapter à n'importe quelle situation et que, au fur et à mesure des années, on peut prendre en compte le changement de la flore. Je prendrai moi, un exemple régional, particulièrement bien adapté à ce qui a été soulevé précédemment par le Professeur Seaward, Serge Déruelle et Juliette Asta : dans le Nord-Pas-de-Calais, les cartographies actuelles des pollutions mises en évidence par les lichens montrent qu'il y a une amélioration globale de la qualité de l'air, mais notre situation géographique, un peu particulière, et la direction des vents font que notre pollution diffuse vers la Belgique.

Ainsi, globalement, dans le Nord-Pas de Calais, nous avons une amélioration de la qualité de l'air et -ce qui est très intéressant aussi- une modification qualitative de notre flore : réapparition à Lille des *Usnées*, qui figuraient dans les vieux herbiers historiques de notre région ; par contre, apparition d'espèces qui n'avaient jamais été signalées dans ces mêmes herbiers du XIXe siècle, bien qu'elles ne puissent pas du tout passer inaperçues: *Pseudevernia furfuracea*.

Il importe donc de mettre en relation cette progression des espèces avec les modifications des écosystèmes et des supports. Par cette technique, on peut réinventer au coup par coup l'échelle de Hawksworth et Rose.

Récemment nous avons comparé les deux échelles (celle des anglais et la nôtre) à l'aide du coefficient de rang de Spearman. Il s'agit d'étudier la corrélation existant entre les "rangs" (le classement dans l'échelle) de différentes espèces communes aux deux échelles. Ce coefficient est de 0,85 pour les espèces sur écorces acides et de 0,90 pour celles colonisant les écorces basiques. Ces valeurs montrent une corrélation hautement significative entre les deux échelles.

## BIBLIOGRAPHIE

BON M., 1974 - Lichens et pollution atmosphérique en Picardie occidentale. *Soc. Linn. Nord de la France*, 14 p.

DELZENNE-VAN HALUWYN C., 1973 - Contribution à l'étude de la distribution des lichens épiphytes dans le Nord de la France. Application au problème de la pollution atmosphérique. Thèse de Doctorat d'Etat en Pharmacie, Université Lille II, 162 p.

DELZENNE-VAN HALUWYN C., 1978 - Application de la bryolichénosociologie à l'évaluation des pollutions atmosphériques acides dans la région Nord-Pas-de-Calais. Contrat tranche B. Conseil Scientifique de la Faculté de Pharmacie de Lille, 16 p.

FOUCAULT B. (de), 1986 - La phytosociologie sigmatiste : une morpho-physique, 147 p., Lille.

FOUCAULT B. (de), 1992 - Contribution à une épistémologie de la bioindication lichénique. *Bull. Inform. Ass. Fr. Lichénol.*, mém. 1, "Problèmes actuels posés à la bioindication lichénique", 77-100.

FOUCAULT B. (de), 1993 - La bioindication lichénique : une physique qualitative. In VAN HALUWYN C. et LEROND M., Guide des Lichens, 198-216, Masson, Lechevalier, Paris.

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

LEROND M., 1981 - Les lichens épiphytes en Normandie orientale. Distribution, sociologie et application à la cartographie de la pollution atmosphérique. *Actes Mus. Rouen*, 1 et 2, 300 p.

VAN HALUWYN C. et LEROND M., 1986 - les lichens et la qualité de l'air. Evolution méthodologique et limites. Ministère de l'Environnement, Paris, 207 p.



## EXPLOITATION PEDAGOGIQUE

### DE LA BIOINDICATION LICHENIQUE AU LYCEE

**J. MARTINEZ, professeur de biologie au Collège Paul Eluard, St Etienne du Rouvray (Seine-Maritime)**

Je ne suis pas lichénologue, mais seulement professeur de biologie dans un collège de l'agglomération rouennaise. A ce titre, je travaille actuellement avec des enfants, dont 12% sont immigrés et en difficulté. Par ailleurs, j'ai exercé les fonctions de chargé de mission au rectorat de Rouen, qui m'ont amené à me préoccuper de la formation des enseignants.

Mon exposé comportera donc trois parties : je ferai tout d'abord état d'une expérience vécue avec les élèves et relative aux lichens et à la pollution atmosphérique, expérience qui s'est achevée en 1980 par la réalisation du film que Michel Lerond a évoqué tout à l'heure, "*Des fumées et des villes*" (CNDP), lequel a été projeté sur TF1 en 1989. En second lieu, je parlerai des actions conduites au niveau de la formation des enseignants, pour terminer par un aperçu de ce qui se pratique au lycée.

**"Aujourd'hui, nous entamons une leçon sur les lichens et la pollution atmosphérique..."**

Voilà comment un professeur pourrait traditionnellement présenter le sujet à des enfants. Mais a-t-il réellement quelques chances de capter l'attention de ses élèves en procédant ainsi ? Evidemment non, car il court inévitablement à l'échec ! Mieux vaut miser sur un vrai **projet pédagogique**, en s'appuyant sur une équipe pluridisciplinaire, pendant et en dehors du temps scolaire, en précisant nettement le cadre de l'étude.

En l'occurrence, le thème choisi était : "*La pollution atmosphérique, les causes et les effets*". Comment, dans ce cas, apprécier la pollution atmosphérique ? Le plus facile consiste à utiliser les capteurs physico-chimiques et nous avons amplement consulté celui de la mairie de St Etienne : démontage, schémas, graphes et courbes, toutes les ressources ont été exploitées, sans vraiment susciter de passion chez les enfants.

Une autre étape a donc été proposée : la visite du réseau-alerte, qui porte maintenant le nom d'AIR-NORMAND. Là, nous avons travaillé sur informatique : un ordinateur central relève en effet toutes les pointes de pollution pour enclencher les alertes, et nous avons voulu en expliquer le fonctionnement à nos élèves. En fait, ceux-ci se sont montrés forts intéressés par les ordinateurs (nous étions en 1980 !), ainsi que par les couches d'inversion et les courants de convection.

Puis nous avons voulu aller plus loin en comparant les résultats de l'observation humaine et ceux de l'ordinateur grâce au protocole expérimental que nous avons mis au point : tous les mardis, les enfants étaient chargés d'étudier le ciel, la pluie, de voir s'il y avait du brouillard, si l'atmosphère leur semblait polluée, puis de porter leurs observations dans un cahier. Le lendemain, nous parvenaient les résultats de l'ordinateur pour ce même jour. Ainsi, très rapidement, nous avons dû nous rendre à l'évidence : il y a le plus souvent disparité entre ce que ressent l'enfant ou l'homme et ce qu'enregistre l'ordinateur : quand on croit qu'il y a de la pollution, il y en a pas, et inversement !...

Mais alors, comment apprécier cette pollution atmosphérique ? Nous avons opté pour les bioindicateurs, qui constituent un excellent support pédagogique. Pourquoi ? Si le concept de symbiose n'est pas d'emblée évident pour les enfants, la biologie des lichens, elle, est intéressante par sa curiosité (c'est un métabolisme lent, avec une croissance lente). De plus, on peut rencontrer le bioindicateur partout, dans la forêt, dans la rue, et l'enfant se sent immédiatement concerné : c'est son affaire à lui, il observe les lichens qu'il a trouvés !

C'est à ce point de notre démarche que Michel Lerond intervient : il s'agit effectivement d'apprendre ce qu'est un bioindicateur, en quoi consiste sa biologie, et savoir le reconnaître. Ensuite, nous sommes allés sur le terrain pour établir une corrélation entre les données du capteur et les bioindicateurs, grâce à l'échelle de Hawksworth et Rose. S'il y a deux méthodes convergentes, il y a fiabilité du système, et s'il y a fiabilité du système, l'enfant est davantage convaincu. Là, nous avons pu disposer d'un appareil physico-chimique portable que nous pouvions examiner pendant une heure avant de revenir au lycée.

Enfin, en collaboration avec le Professeur Lemerrier, du Centre Hospitalier Universitaire de Rouen, nous avons voulu aller encore plus loin : pollution, lichens et santé de l'homme. Celui-ci s'était en effet livré à une enquête épidémiologique, mais elle n'a pu être prolongée, car elle nécessitait des moyens trop coûteux et trop complexes. Nous nous sommes donc orientés sur une autre étude, également intéressante : les lichens et l'urbanisme, mais certains maires des communes environnantes nous ont découragés : *"Mieux vaut ne pas trop ébruiter l'absence de lichens dans cette commune-là, cela sous-entend présence de pollution atmosphérique, donc pourrait nuire à notre réputation !"*

**Plaçons-nous maintenant du côté du Responsable Académique des Sciences et des Techniques que j'étais, au Rectorat de Rouen :** ma première tâche était la formation des maîtres, leur sensibilisation à ce problème de pollution atmosphérique, d'où l'organisation de stages avec des intervenants extérieurs ; ces stages se déroulaient toujours en trois sessions : une partie théorique, une partie terrain obligatoire, et une partie pédagogique (essayer d'inciter les personnes intéressées à restituer leur expérience pédagogique).

Par ailleurs, nous avons été sollicités par le Professeur Dowding de l'Université de Dublin, qui faisait une enquête sur les levures en tant que bioindicateurs. En effet, en période de pointe de pollution, il y a deux moyens très rapides de se rendre compte de l'importance de la pollution :

- le nombre d'entrées à l'hôpital (Service des Affections Respiratoires),
- le développement des levures sur la face inférieure des feuilles des arbres qui, à la différence des lichens, réagissent très vite.

A la suite de l'expérimentation, nous avons établi un document qui fut communiqué aux autres équipes européennes engagées dans ce projet.

Lors d'une première réunion au Luxembourg, l'occasion nous fut donnée d'échanger nos idées et de débattre sur un certain nombre d'interrogations que nous nous étions posées : "*Faut-il établir une hiérarchie des écorces ? Quel est le temps de latence ? Comment s'effectue le mécanisme d'action ?*"... Le Professeur Dowding, qui bénéficiait de l'expérience et du recul nécessaires, nous a grandement aidés dans nos recherches. Nous avons donc adopté un protocole expérimental et prévu de recommencer l'expérience.

La seconde réunion eut lieu à Bruxelles et nous permit de tomber d'accord sur un ensemble d'enseignements à retenir sur le sujet, dont l'intérêt pédagogique est indéniable puisque la simplicité de l'expérimentation la rend parfaitement adéquate et motivante pour des élèves de 5ème.

### **L'intérêt pour les relations existantes entre les bioindicateurs et la pollution atmosphérique est-il partagé au niveau des élèves du second cycle ?**

Oui et j'en voudrais pour preuve les trois exemples suivants :

- au Lycée de Verneuil sur Eure, par exemple, on a étudié la relation *Pollution en milieu urbain et présence de lichens* à partir d'artères de circulation : l'étude des lichens a été effectuée en rapport avec un flux de circulation de moins en moins important.

- à Cantleu, démarche semblable : l'observation a été réalisée dans la cour de l'établissement, aux abords des rues à grande circulation, aux abords des rues peu fréquentées et aux abords des rues longeant la forêt.

- à Lillebonne, par contre, une toute autre opération, du nom de CYRANO, a été lancée par la DRIR : dans toute l'agglomération, il s'agissait de sentir les odeurs. Parallèlement aux testeurs professionnels, des élèves de lycée réalisaient des tests en suivant le protocole expérimental. Leurs résultats, examinés à part, rejoignaient ceux des testeurs professionnels. Nous avons alors établi une comparaison de la situation lichénique et des relevés d'odeurs sur ce même lieu.

En conclusion, je dirai que si les lichens présentent à eux seuls une curiosité, un étonnement pour les enfants, les lichens en tant que bioindicateurs suscitent chez eux une motivation : la biologie semble ainsi un peu plus concrète et la corrélation avec d'autres méthodes offre une grande fiabilité. Il en résulte que les enfants ont une toute autre perception de la biologie ou de l'écologie. Alors, pourquoi ne pas imiter le Professeur Dowding en établissant un protocole expérimental qui permettrait à des enfants de plusieurs régions de France de faire des expériences, de collecter ces expériences, de discuter des résultats et des conclusions ?

## DISCUSSION GENERALE

Animée par Mark SEAWARD et Marie-Agnès LETROUIT-GALINOU

MARIE-AGNES LETROUIT-GALINOU - Nous avons tenu à élargir cette discussion aux personnes non-spécialisées en lichénologie afin de leur permettre d'intervenir tout à loisir. Avez-vous des questions à poser à Mark Seaward, qui a insisté sur le fait que la pollution était en train de changer ?

INTERVENANT X - Le Professeur Seaward et Chantal Van Haluwyn ont évoqué le "manteau vert monotone", constitué en milieu fortement industrialisé. Le lichen *Lecanora conizaeoides* et l'algue *Pleurococcus viridis* semblent en être les dominantes. Qu'en est-il des autres espèces ?

MARK SEAWARD - En fait, dans les cas de pollution extrême, les troncs d'arbres sont nus : c'est le désert lichénique. A un stade moindre, on rencontrera la seule algue *Pleurococcus viridis*, puis s'ajoutera à celle-ci le lichen *Lecanora conizaeoides*. A ce même stade, mais pour des conditions écologiques différentes, on pourra également noter la présence d'autres lichens verts et pulvérulents, tels *Lecanora expallens* et *Lepraria incana*. Ensuite, au fur et à mesure que l'on se dirigera vers un air plus pur, s'ajouteront progressivement les espèces caractérisant les autres zones. Il faut bien comprendre en effet, que les lichens des zones peu polluées ne se substituent pas aux précédents mais s'y ajoutent.

MARIE-AGNES LETROUIT-GALINOU - Il convient de préciser que ces lichens verts poudreux recolonisent rapidement une zone désertée dès la moindre amélioration de la qualité de l'air.

MICHEL ROBERT / INRA - On a beaucoup parlé ici des lichens épiphytes, c'est-à-dire ceux qui se fixent sur les arbres. Que peut-on attendre des lichens fixés sur les bâtiments, les monuments, voire même sur les rochers, en fonction du milieu-tampon ? On a évoqué tout à l'heure le *milieu-tampon carbonaté*...

MARIE-AGNES LETROUIT-GALINOU - Nous avons justement la chance de compter parmi nous un spécialiste de la question : le Professeur Mark Seaward a eu en effet l'occasion de travailler dans une région tellement polluée qu'elle ne permettait pas l'existence des lichens épiphytes. Il s'est donc tourné vers les lichens saxicoles.

MARK SEAWARD - En effet, j'ai consacré une grande partie de ma vie de chercheur à étudier les substrats artificiels, et notamment l'amiant-ciment. Ceux-ci constituent d'ailleurs un terrain extrêmement intéressant pour les débutants, car le protocole appliqué reste le même, quelle que soit la ville. Par contre, si vous optez pour les arbres-supports, vous rencontrerez probablement quelques difficultés car la nature des arbres plantés diffère souvent d'une ville à l'autre, en fonction du goût des municipalités.

INTERVENANT X - Il semble que France Fredon se soit basée uniquement sur les espaces verts pour établir sa carte de la pollution de Paris. Ceux-ci sont-ils réellement révélateurs de la pollution d'une ville ?

### LES PRINCIPALES REGIONS FLORISTIQUES MONDIALES

*Les grands territoires floristiques ont été distingués par les biogéographes d'après la flore phanérogame ; ils coïncident aussi avec les territoires faunistiques. Quant à la flore lichénique, elle semble en correspondance avec ces zones, mais là, l'évolution des connaissances pourra moduler ou contredire les approximations actuelles.*

*Outre un élément subcosmopolite, avec des espèces comme Xanthoria parietina, les lichens peuvent être répartis entre trois grandes zones :*

*- la zone holarctique comprend les régions nordiques et arctiques (dans ces dernières, large prédominance des lichens), ainsi que le bassin méditerranéen (espèces squameuses, gélatineuses, et fruticuleuses),*

*- la zone tropicale, caractérisée par... la méconnaissance de la flore lichénique, mais où les investigations fragmentaires menées ici et là laissent imaginer une grande richesse.*

*- la zone antarctique, où on peut rencontrer des lichens jusqu'à une latitude de 86°.*

*D'après C.Van Haluwyn et M.Lerond  
GUIDE DES LICHENS*

neutrophiles aux dépens des espèces acidophiles. Notamment, l'inventaire de la flore lichénique de la région de Annaba, en Algérie (sur la frontière tunisienne, le long de la Méditerranée) atteste d'une végétation très nitrophile, même à une altitude de 300/400 m. Si la responsabilité en incombe effectivement aux unités de production d'engrais, il faut également tenir compte des conditions climatiques: nous sommes en milieu méditerranéen, et la pluviométrie, relativement faible, ne permet pas un lessivage aussi important des écorces qu'ici. Si l'on en juge par la quantité des publications, certains pays sembleraient plus touchés que d'autres : Pays-Bas, pays scandinaves.

INTERVENANT Y - Vous évoquez l'Afrique du nord et je m'interroge justement sur la répartition de la flore lichénique dans le monde... Qu'en est-il des régions désertiques et, à l'extrême, de la zone antarctique ?

CHANTAL VAN HALUWYN - On estime à 20 000 environ le nombre d'espèces de lichens à travers le monde, pour un rapport moyen de 0,1 avec la flore phanérogame. Le Sahara n'offre guère plus de 100 espèces, qui se

Par contre, en ce qui concerne l'azote, il faut savoir que les usines émettent un flux de pollution sous forme de panache de fumée, plus ou moins horizontal, dont l'importance varie selon la température de sortie : le maximum de pollution couvre une zone égale à une fois et demie la hauteur de la cheminée, mais ce flux ne passe pas au niveau du sol. La base de l'arbre n'est donc pas soumise au flux de pollution directe. Ceci explique-t-il la recolonisation à cet endroit du tronc ? Dans le doute, je n'ai observé les lichens qu'à hauteur de 1,30 m.

INTERVENANT X - Juliette Asta a brièvement évoqué la détection de la pollution automobile à proximité du tunnel du Mont-Blanc. Où en est-on actuellement ?

JULIETTE ASTA - Nous procédons actuellement à l'analyse de la teneur en plomb des lichens dans cette zone, grâce à un spectromètre d'absorption atomique, mais nous ne sommes pas encore en mesure de communiquer le résultat de nos travaux.

MICHEL ROBERT - Quel est l'impact de la pollution azotée sur les lichens ?

CHANTAL VAN HALUWYN - En présence de pollution par les engrais, par exemple, on assiste à une très importante modification de la flore au niveau qualitatif ; on peut observer par exemple une luxuriance des espèces considérées comme



réfugient dans les massifs montagneux et les marges subdésertiques. Quant à la zone antarctique, c'est sans doute la plus originale, puisque 350 lichens y sont dénombrés, pour seulement 3 espèces de phanérogames !

INTERVENANT Y - La présence d'espèces dans le Sahara atteste donc d'une certaine résistance à la sécheresse, et pourtant, j'avais cru comprendre que l'eau constituait un élément extrêmement important pour le lichen. Qu'en est-il réellement ?

CHANTAL VAN HALUWYN - Effectivement, le degré d'hydratation du thalle conditionne les fonctions vitales du lichen, mais tout dépend de l'habitat d'origine : un lichen aquatique ne survit que quelques heures à la dessiccation, alors qu'un habitué du désert peut survivre plusieurs années. Mais d'une façon générale, disons que la majorité des espèces vivent dans des milieux peu humides, voire même secs.

MARIE-AGNES LETROUIT-GALINOU - Les lichens suscitent une fois de plus la curiosité de tous, si l'on en juge par le nombre de questions qui jaillissent, et je regrette vivement d'interrompre cette discussion. Mais soyez rassurés : après une brève pause, une rencontre-débat nous permettra d'en apprendre encore un peu plus !

## RENCONTRE-DEBAT

# LES TEMOINS SILENCIEUX DE L'AIR



## INTRODUCTION : POURQUOI LA BIOINDICATION ?

par M.R.D. SEAWARD\* et M.A. LETROUIT-GALINOU\*\*

Department of Environmental Sciences, University of Bradford (G.B.)

\*\*Laboratoire de Cryptogamie, Université P. et M. Curie, Paris, France

Il importe de compléter les données obtenues à partir de procédés physico-chimiques par le monitoring biologique. En effet, tandis que le nombre de capteurs demeure insuffisant par rapport à l'espace régional à étudier, nombre de plantes et d'animaux sont connus pour leur sensibilité à un ou plusieurs polluants. La distribution, ainsi que les mesures de performances (taille, fertilité) d'espèces sélectionnées peuvent ainsi être avantageusement exploitées pour connaître les niveaux de pollution de l'air. Grâce à la modélisation informatique, on a pu recourir aux indicateurs biologiques pour démontrer les montées et les chutes de ces niveaux et pour faire des évaluations rétrospectives.

Nous disposons de données considérables pour l'Europe et d'autres continents au cours des deux derniers siècles et celles-ci nous permettent de relier le déclin de la faune et de la flore à l'accroissement de la pollution de l'air et en particulier à celui du dioxyde de soufre. Pendant cette période, des changements quantitatifs et qualitatifs sont survenus, tant dans l'espace que dans le temps.

Ceci est surtout vrai depuis vingt ans, à cause des nouvelles orientations politiques des nations en matière d'énergie (thermique/nucléaire), des facteurs socio-économiques (transport automobile, récession de la métallurgie, développement des zones périurbaines), et de la mise en place des "Clean Air Acts" (législations pour un air propre). Tous ces changements, qui se répercutent sur la nature et les quantités des polluants rejetés, ont des effets sur l'environnement.

De plus, il faut tenir compte du fait que les atmosphères polluées diffèrent énormément, en intensité et en composition, que les polluants peuvent agir indépendamment ou de façon synergique dans l'atmosphère; enfin, que leur action est influencée par les conditions climatiques et topographiques locales.

Toutes ces raisons expliquent pourquoi les effets délétères de l'air sur l'environnement varient considérablement d'un lieu à l'autre. D'une part, on constate une recolonisation très localisée dans des zones où la qualité de l'air s'est améliorée : c'est le cas de la ville de Paris, réenvahie par un petit nombre d'espèces qui exploitent des habitats très sélectifs. D'autre part, la dilution des émissions\*, adoptée par certaines autorités comme solution à la

---

\* Pour obtenir une dilution des émissions, on recourt généralement au moyen le plus simple : élever les cheminées d'usines à une hauteur suffisante pour que les fumées soient dispersées le plus loin possible.

pollution de l'air local, a entraîné une pollution diffuse, à distance, sur des territoires étendus, avec des effets significatifs sur la faune et la flore.

Ces effets se manifestent souvent de façon inattendue et, selon les organismes, apparemment contradictoire. Ainsi, une augmentation même légère de dioxyde de soufre peut être fatale à certaines espèces de lichens, en fonction de leur sensibilité, ce qui entraîne une diminution de la diversité floristique, mais, en même temps, elle permet à d'autres espèces d'étendre leur champ écologique et géographique soit qu'elles exploitent des substrats nouvellement acidifiés, soit qu'elles colonisent des supports basiques qui neutralisent les polluants acides dérivés de l'atmosphère et où on ne les trouve pas habituellement.

En conclusion, si la bioindication s'est montrée efficace dans le cas, notamment, du dioxyde de soufre, on peut penser qu'elle le sera pour les nouveaux polluants. Sur le terrain, des études à long terme basées sur des critères écologiques et biogéographiques rigoureux devront être menées. Ceci nécessitera un travail extensif sur de nombreux habitats sélectionnés dans des zones critiques. Pour celles-ci en effet, les alertes doivent être diagnostiquées scientifiquement par le biais de techniques bioindicationnelles, complétées par un matériel d'enregistrement adéquat.

## CAPTEURS PHYSIQUES ET INDICATEURS BIOLOGIQUES

par Sylvie GOTTARD

AREMA LILLE-ROUBAIX-TOURCOING  
5 bld de la Liberté BP 479 59021 LILLE CEDEX

L'AREMA Lille-Roubaix-Tourcoing est le réseau automatique de surveillance de la qualité de l'air qui couvre la zone géographique correspondant à la Communauté Urbaine de Lille.

Statutairement, le réseau est géré par une association type loi 1901 regroupant des représentants de collectivités locales, des représentants de l'Etat, des industriels ou encore le milieu associatif de l'environnement.

Cette structure a été créée en 1979. D'autres structures identiques existent au niveau national (plus d'une vingtaine), couvrant les principales agglomérations. Ces réseaux ont vu le jour à partir des années 75 suite à la circulaire du 23 mars 1973 émanant du Ministère chargé de l'Environnement, qui confiait aux services extérieurs du Ministère de l'Industrie la mission de coordonner la mise en place et la gestion des réseaux de mesure. Les stations de mesure ainsi mises en place ont pour objectif de contrôler la qualité de l'air dans les sites où la pollution est présumée la plus forte ou ceux où la santé et l'environnement doivent faire l'objet d'une protection particulière.

L'AREMA Lille-Roubaix-Tourcoing possède une quinzaine de points de mesure. Les paramètres mesurés sont les polluants d'origines industrielle, domestique ou ceux résultant des transports, ainsi que des données météorologiques qui permettent d'interpréter les niveaux en polluants.

Lorsque le réseau a été créé en 1979, les efforts de mesure se sont portés sur le dioxyde de soufre qui était et reste encore le meilleur indicateur des pollutions à la fois industrielle et celle résultant de l'utilisation de combustible fossile au niveau domestique.

La pollution d'origine industrielle a diminué au cours des dix dernières années. Ceci est le résultat d'une politique de réduction des émissions industrielles (avec la mise en oeuvre de mesures incitatives de réduction de la taxe parafiscale sur la pollution atmosphérique ou d'aides à l'équipement). Localement, c'est aussi le résultat du passage de la production d'électricité par les centrales thermiques à une électricité d'origine nucléaire (Gravelines).

L'utilisation de combustibles moins polluants est également une mesure favorable à une diminution de la pollution.

Enfin, la récession et la fermeture de nombreuses industries a accentué cette diminution des rejets.



L'AREMA Lille-Roubaix-Tourcoing a entrepris de réorganiser ses points de mesure en se fixant deux objectifs : avoir une bonne connaissance de la pollution de fond, résultante de tous les types de pollution et surveiller, prévenir au mieux les phénomènes de pollution de proximité (industrie, transports). Le plan adopté compte une quinzaine de points de mesure répartis sur toute l'agglomération. Dans ce projet, la pollution d'origine automobile fera l'objet de contrôles accrus, la circulation automobile ayant tendance à s'accroître.

Le problème qui s'est posé pour ce projet est le choix des sites. Une fois les objectifs bien définis, le choix des sites s'opère à partir de la densité d'émetteurs potentiels (rejets d'usines, flux de circulation, habitat), des densités de populations exposées et des dominantes météorologiques (direction des vents).

Les polluants mesurés par l'AREMA en continu sont au total au nombre de six : le dioxyde de soufre, les oxydes d'azotes, les poussières en suspension, les hydrocarbures totaux, le monoxyde de carbone, l'ozone.

Pour proposer le schéma du réseau, nous avons deux approches possibles. L'une faisant appel à la modélisation, mais d'un coût élevé et relativement longue à mettre en oeuvre. L'autre, plus pratique, explicitée ci-dessus, est basée sur une bonne connaissance du terrain en termes d'émissions, de topographie, de météorologie et de densités de populations. C'est cette dernière option qui a été retenue. A ce niveau, les travaux de Chantal Van Haluwyn, relatifs à l'étude de la pollution atmosphérique par les lichens, nous ont intéressés. Cette approche globale, en permettant de mettre en évidence les zones les plus polluées ou des zones sensibles, est une aide précieuse pour le choix des sites. Les informations sont complétées ponctuellement à l'aide du Laboratoire Mobile de la Qualité de l'Air.

Une première étude a commencé en juin 1992 et devrait être poursuivie en 1993 par un maillage à l'échelle de toute la Communauté Urbaine. Lors de la première étude, un désert lichénique a été mis en évidence sur le secteur ouest du territoire. Des mesures plus importantes seront mises en oeuvre par l'AREMA dans ce secteur. Une station de surveillance était prévue à cet endroit.

Les deux approches (étude à partir des lichens et surveillance en continu) sont complémentaires. La complémentarité s'opère dans le temps : le réseau automatique fonctionne en temps réel, alerte sur le champ de toute pollution, les lichens intègrent la pollution sur le temps. Les lichens permettent de renseigner et de suivre la pollution de fond.

La complémentarité s'opère géographiquement. Le réseau possède des stations essentiellement en site urbain, là où il n'y a pas encore repeuplement par les lichens (ou absence de supports favorables à la recolonisation lichénique).

L'étude à partir des lichens permet d'établir la cartographie de la qualité de l'air en zone rurale, là où le réseau ne possède pas de station.

# INDICATEURS DE POLLUTION EN MILIEU FORESTIER

par Jean-Marc GOUGIS

Directeur Adjoint à l'ONF NORMANDIE  
58 rue Bouquet 76000 Rouen

\*\*\*\*\*

L'Office National des Forêts est un établissement public chargé, pour l'essentiel de ses missions, de la gestion des forêts domaniales et forêts des collectivités. Il réalise également un certain nombre d'interventions dans le milieu naturel pour divers clients. Dans son approche de la gestion forestière, l'O.N.F. recherche le meilleur équilibre entre les principales fonctions de la forêt que sont la production, la protection du milieu et des paysages et l'accueil du public. S'il n'entre pas dans ma compétence de tenir un propos de spécialiste des lichens, je crois essentiel, en tant que Directeur-Adjoint de l'O.N.F./NORMANDIE, de retracer l'historique des phénomènes de pollution en Basse Vallée de Seine depuis les années 50/60. Ainsi, comprendrez-vous mieux comment l'approche lichénique a finalement tenu sa place dans cette étude.

\*\*\*\*\*

## LE CONTEXTE

J'évoquerai le contexte de la région rouennaise :

- La vallée de la Seine, région très industrialisée, comportant notamment des usines chimiques, papetières et d'engrais, etc.... ; une activité soutenue de ces industries qui explique des phénomènes de pollution importants. Cette pollution, à l'origine supportable pour l'environnement, atteint des niveaux très élevés à partir des années 68/70. Les deux principaux éléments polluants sont le fluor et le soufre.

- Une ceinture de forêts (11 000 hectares), dont l'objectif prioritaire est l'accueil du public. Les forêts, essentiellement domaniales, sont principalement constituées de trois essences : le chêne, le hêtre et le pin sylvestre. Leur proximité de l'agglomération en facilite l'accès par la population de l'agglomération (400 000 habitants), mais les expose aux émissions polluantes des zones industrielles.

### **Sur le terrain, quels phénomènes le forestier enregistre-t-il pendant cette phase critique ?**

A partir des années 60, les signes d'atteinte à la forêt se manifestent et se développent, en particulier en Forêt Domaniale de Roumare. L'essence la plus atteinte est le Pin Sylvestre. Comme la plupart des résineux, celui-ci conserve ses aiguilles plusieurs années et de ce fait, stocke davantage les polluants. C'est donc sur cette espèce que l'on enregistre les signes de dépérissement les plus aigus : un feuillage de plus en plus clair et réduit à une seule année d'aiguilles, une diminution de la fructification, une forte sensibilité aux parasites, à tel point que vers les années 70/73, la situation devient réellement catastrophique. On constate alors la mort de nombreux arbres; des coupes sanitaires importantes sont réalisées. Autre accident marquant : en 1974, un pic de pollution a fait passer de vie à trépas 62 hectares d'une jeune plantation de Douglas en Forêt de Rouvray. Les jeunes résineux ont changé de couleur durant la nuit. Les pics de pollution atteignent un seuil intolérable et l'importance des coupes sanitaires à pratiquer finit par alerter la population, les médias, les autorités, etc...

C'est à cette époque que se met en place un système d'alerte, également adopté par d'autres villes : un ensemble de capteurs répartis sur l'agglomération et son pourtour permet de mesurer les éléments polluants de l'atmosphère ; quand certains seuils sont atteints, l'alerte est donnée aux industriels. L'utilisation de combustibles moins polluants conduit à supprimer les pics de pollution si néfastes pour les végétaux.

### **MISE EN PLAN D'UN FAISCEAU DE MESURES**

#### **Les différentes mesures concernant la forêt :**

Un bilan de la situation est effectué par un certain nombre de spécialistes, d'universitaires, de chercheurs, notamment de l'INRA. Le point de départ des principales études se situe en 1973-1974.

J'ai cité précédemment le réseau de mesure et d'alerte mis en place sur l'agglomération avec l'installation d'un capteur en Forêt de Roumare. Aussi a-t-on pratiqué un certain nombre d'analyses foliaires, pendant plusieurs années, afin de mesurer la teneur en fluor et en soufre des feuilles et des aiguilles ; de même, les premiers relevés sont effectués sur les lichens ; simultanément, on adopte le système de photos "fausses couleurs", basé sur infra-rouge, qui permet de détecter et de mettre en évidence l'état sanitaire de l'arbre (feuillage sain, jaunissant, défolié ou complètement mort). Les clichés sont pris par hélicoptère, à une altitude d'environ 350 m, chaque année à la même époque - fin de printemps / début d'été - et permettent d'étudier l'évolution.

Peu après 75/76, l'O.N.F. procède, en liaison avec l'INRA, à la mise en place de 3 arboretums, comprenant 134 espèces différentes, introduites pour tester leur résistance aux polluants. Pour obtenir une meilleure comparaison, ces plantations sont situées dans des zones présentant des degrés divers de pollution ; une zone très polluée, une zone moyennement polluée, une zone non polluée ( 2 en Forêt de Roumare, 1 en Forêt Verte).

## Le rôle du forestier

Ainsi s'est développée une collaboration très appréciée avec Michel Lerond, sur l'étude des lichens en tant que bioindicateurs. 11 forestiers répartis sur l'ensemble de la Haute Normandie ont été formés et effectuent régulièrement des relevés lichéniques sur des placettes, armés d'une notice et d'une boîte échantillon. Les relevés alimentent ainsi une banque de données qui sont traitées et font l'objet d'une synthèse de Monsieur Lerond.

Un certain nombre d'études fines et poussées sont prises en charge par les scientifiques, les chercheurs, les universitaires compétents. Le forestier leur apporte son appui en qualité d'homme de terrain, il facilite l'analyse des résultats en éclairant les liens qui existent entre les études pointues des spécialistes et sa connaissance pragmatique du milieu forestier.

## Les résultats correspondent-ils aux espérances ?

Il convient tout d'abord de noter la cohérence et la complémentarité des différentes mesures mises en place. Celles-ci ont montré une régression progressive de la pollution, après le pic des années 70/74.

Pour assurer le suivi de l'évolution de la pollution atmosphérique, un certain nombre de données continuent d'être relevées: photos "fausses couleurs", bioindicateurs lichens et mesure de l'acidité par les capteurs en forêt.

Par contre, les arboretum ne donnent plus lieu à relevé; après 5/6 ans, l'I.N.R.A. a pu établir une classification des différentes essences forestières selon leur sensibilité aux phénomènes de pollution.

En ce qui concerne l'état sanitaire de la forêt, les forestiers ont enregistré sur le terrain une nette reprise de vigueur et de croissance, à tel point que certains Pins Sylvestres, déclarés moribonds dans les années 70, affichent actuellement deux années d'aiguilles ! De plus, on remarque une fructification plus abondante depuis une dizaine d'années.

## QUEL AVENIR POUR LA FORET ?

Tous ces faits amènent le forestier à s'interroger à propos de l'impact réel des phénomènes de pollution sur la forêt. Les phénomènes de pollution peuvent agir tant au niveau de la partie aérienne que de la partie racinaire (accumulation dans le sol) de l'arbre. Il s'ensuit des troubles biologiques mal connus pouvant entraîner affaiblissement, attaques de parasites, dépérissement, mortalité.

Ces phénomènes peuvent avoir des conséquences directes pour le forestier sur la sylviculture (moindre vigueur, moindre croissance, baisse des capacités de réaction aux éclaircies, diminution de la fructification...) et sur la production de la forêt. Durant les années de forte pollution, la baisse de production a été estimée à 15-20%. Qu'en est-il exactement ? La qualité du bois est-elle altérée ? Autant de questions auxquelles il est difficile de répondre.

La pollution peut entraîner un certain nombre de désordres ; la difficulté est de déterminer les seuils de déclenchement de ces désordres et d'analyser les éventuels phénomènes d'accumulation.

En conclusion, il s'avère que le triste épisode qu'ont connu les massifs forestiers de la région de Rouen a alerté l'opinion publique et a joué un rôle important dans l'approche du phénomène par diverses méthodes complémentaires.

Il convient désormais d'assurer un suivi régulier de l'état sanitaire de la forêt et plus globalement de l'écosystème forestier. Pour ce faire, l'O.N.F. participe à la mise en place et au suivi de réseaux de placettes, tant au niveau national qu'euro péen. Le point de départ de ces réseaux a été le phénomène baptisé "pluies acides" qui s'est déclaré dans le massif Vosgien, il y a une quinzaine d'années.

Le suivi sur le long terme de cet ensemble de placettes doit permettre d'observer l'évolution des écosystèmes, de mieux en comprendre les mécanismes et de tenter de remédier aux désordres qui peuvent se produire.





## Office National des Forêts

\* \* \*

### Notre Partenaire Naturel

#### Les activités.

L'Office National des Forêts, établissement public national créé par la loi du 23 Décembre 1964 et placé sous la tutelle de l'Etat, exerce des activités qui peuvent être regroupées en trois grands domaines d'intervention :

- . la gestion des forêts publiques,
- . l'exercice de missions de service public,
- . les actions de diversification dans lesquelles l'Office utilise ses compétences pour accroître son champ d'activité au service de la nation.

#### Les objectifs.

Gérer la forêt publique pour le compte du propriétaire, dans le respect des grands équilibres écologiques. La gestion technique s'exerce dans le cadre de directives nationales (forêts domaniales) et d'orientations nationales (forêts de collectivités) données par l'Etat à l'Office et qui peuvent se résumer de la manière suivante :

- . défendre le patrimoine contre les agressions diverses (défrichement, urbanisation, grands équipements) et améliorer la consistance du domaine géré (extension raisonnée, résorption d'enclaves, rectification des limites),
- . maintenir et si possible améliorer l'aptitude de la forêt à assurer d'une manière pérenne l'ensemble de ses fonctions économiques, écologiques et sociales,
- . maximiser durablement le revenu annuel net de la forêt grâce à la recherche de la plus grande production de bois d'oeuvre de qualité.

Assumer de nombreuses missions de service public pour le compte de l'Etat. Certaines d'entre elles, assurées avant 1966 par l'Administration des Eaux et Forêts, ont connu depuis cette date un développement considérable. D'autres ont été confiées plus récemment à l'Office par les Pouvoirs Publics. L'Office est alors un agent de la puissance publique, investi de missions d'intérêt général de prestataire de services décidés par le gouvernement ou attendus du public :

- . accueillir et informer le public en forêt,
- . protéger le territoire par la forêt : c'est le rôle de la restauration des terrains en montagne et de l'entretien des dunes littorales,
- . protéger la forêt et les milieux naturels, comme la forêt méditerranéenne ou les réserves naturelles et biologiques.

Agir comme une entreprise de services capable d'intervenir pour la création, l'entretien et la gestion de forêts et d'espaces naturels de toute nature, au profit de partenaires de toutes sortes. Cette activité se développe progressivement et continue à prendre une place importante dans les interventions de l'Office National des Forêts, tant en France qu'à l'étranger.

#### Les hommes.

L'Office National des Forêts est une collectivité d'hommes et de femmes de haute compétence et d'expérience dans les sciences de la nature. Ce qui les unit, c'est la complémentarité de leurs savoir-faire, appliquée à la connaissance de la forêt, à l'exploitation et à la mise en valeur des ressources naturelles, ainsi qu'à la préservation des paysages et de l'environnement.

#### L'organisation.

L'Office est organisé en 25 directions régionales (21 en métropole et 4 dans les DOM). Chacune de ces directions est elle-même divisée en niveaux de gestion, le plus souvent départementaux, et en niveaux de terrain qui permettent aux forestiers de l'Office d'être présents sur l'ensemble du territoire national, en contact étroit avec les acteurs locaux. A Paris, la direction générale, structure légère de 240 personnes seulement, dirige, anime et coordonne, en liaison avec les partenaires nationaux, les services extérieurs de l'Etablissement.

#### Les effectifs ( chiffres 1991 ).

##### Les personnels fonctionnaires et assimilés :

- . 7.430 personnes se répartissant en 5.828 personnels techniques et 1.602 personnels administratifs.

##### Les ouvriers forestiers :

- . 6.111 personnes auxquelles s'ajoutent l'encadrement de 2.637 personnels ouvriers forestiers à statuts particuliers.

## DEBAT

animé par Mark SEAWARD et Marie-Agnès LETROUIT-GALINOU

CHANTAL VAN HALUWYN - Dès le commencement de nos travaux sur les lichens en tant que bioindicateurs, nous avons voulu faire admettre la notion de complémentarité. Le message est enfin passé et à Lille, nous pratiquons maintenant la collaboration dans tous les sens du terme, une collaboration qui gagnerait à être exploitée pour d'autres études du même type.

MICHEL LEROND. - Il y a effectivement une multiplicité d'approches de la pollution de l'air, qui sont toutes en complémentarité. En ce qui concerne la Région Haute-Normandie, par exemple, il existe une corrélation certaine entre les différentes approches : on n'observe pas exactement les mêmes phénomènes, on ne recherche pas forcément les mêmes types de réponses, mais les études ont la même direction et c'est important de le souligner ici.

Par ailleurs, Jean Marc Gougis a évoqué l'évolution de la pollution de fond, qui constitue une préoccupation importante : en effet, si l'on remarque depuis maintenant 15 ans, une diminution sensible, voire très sensible, de la pollution de proximité, au niveau des zones les plus polluées (agglomérations de Rouen, du Havre et du complexe pétro-chimique de Port-Jerôme Gravanchon), on enregistre par contre une stagnation à peu près complète des pollutions de fond sur une grande partie du département de Seine-Maritime.

Après l'abaissement général du niveau de pollution, il nous faut donc aborder dorénavant une étape d'autant plus ardue qu'elle se joue à long terme : intervenir sur une pollution -certes faible- mais qui stagne et présente même des fluctuations à la hausse. Un tel objectif implique bien évidemment des moyens techniques et financiers qui méritent d'être mis en oeuvre si on veut réellement faire évoluer la situation.

SERGE DERUELLE - Des trois interventions précédentes, se dégage une idée commune : celle de la complémentarité des indicateurs de pollution. Tout en adhérant à ce point de vue, j'y apporterai quelques nuances :

Il y a effectivement complémentarité dans le temps. En présence d'une fuite de chlore, il faut donner l'alerte immédiatement, et seul, le capteur peut répondre à un tel besoin. Les lichens, qui semblent dans un premier temps résister à une pollution aigüe, réagissent en fait, mais à plus long terme, L'appareil me semble donc indispensable, mais si l'on en juge d'après l'état des relevés, il gagne à être utilisé en complémentarité avec les indicateurs biologiques car il n'est pas à l'abri d'une défaillance technique.

Complémentarité également dans l'espace : les capteurs, d'un coût fort onéreux, sont répartis selon les besoins, en grand nombre dans les zones très polluées, en petit nombre dans les zones peu polluées. Lorsqu'on travaille par cartographie en réseaux, les lichens peuvent confirmer à peu de frais les mesures relevées par un capteur.

Permettez-moi d'être plus sceptique vis-à-vis du laboratoire mobile. En effet, j'ai eu récemment la chance d'assister à une démonstration organisée dans le cadre de l'opération "Eco-Ville", à Maurepas. Le véhicule, équipé d'un barboteur à chlore, était bien sûr installé à proximité d'une piscine. Or, dix

mètres plus loin, le capteur était en dehors du panache ! On annonçait seulement 10 microgrammes de SO<sub>2</sub>, bien compréhensibles : il était 19 H et il avait plu toute la journée. Actuellement, on se livre là-bas à une détermination de la pollution par photo-spots... J'aimerais donc connaître votre avis : la laboratoire mobile peut-il réellement apporter quelque chose?

SYLVIE GOTTARD - En ce qui concerne la fiabilité des capteurs, il faut savoir que les problèmes techniques qui peuvent survenir au niveau des analyseurs et des réseaux automatiques sont nombreux. Notre rôle consiste à minimiser les pertes d'information en faisant de la maintenance préventive et curative de nos installations.

Par ailleurs, pour ce qui est du laboratoire mobile, les réseaux automatiques du Nord-Pas-de-Calais sont les premiers en France à avoir pu disposer de ce type de matériel. Cette unité mobile, opérationnelle depuis 1987, est conçue comme une station fixe. Complètement autonome (informatique embarquée, groupe électrogène), le laboratoire est le complément indispensable du réseau fixe. Il nous permet d'effectuer des campagnes de mesures ponctuelles ou de longue durée. Nous intervenons avec ce véhicule, par exemple, à la suite de plaintes de voisinage autour d'un site industriel.

Quant au barboteur à chlore, nous n'en avons pas. Nous n'utilisons que des appareils automatiques, lesquels nous permettent d'enregistrer les mêmes paramètres que ceux d'un réseau fixe. Je ne connais pas le système utilisé par EDF/GDF : dans le cas cité, s'agissait-il réellement d'une campagne de mesures ou simplement d'une présentation de matériel ?

En ce qui concerne le site, nous faisons en sorte de réunir les meilleures conditions possibles pour installer le laboratoire : un mât météorologique nous indique la vitesse de direction du vent, l'humidité, la température, ce qui nous permet d'étudier, entre autres, la dispersion d'un polluant.

INTERVENANT Y - On dit que les conifères permettent d'évaluer la pollution fluorée, qu'en est-il réellement ?

JULIETTE ASTA - En milieu montagnard, fortement pollué, on recourt effectivement davantage aux conifères, par exemple les épicéas, car ils sont abondants et il n'y a pas de problèmes pour la récolte. Leurs aiguilles, persistantes, accumulent plus de fluor que les autres végétaux, à feuilles caduques. Les lichens sont plutôt utilisés pour rendre compte de la pollution de fond dans les zones moins polluées, car ils continuent à accumuler le F pour des teneurs dans l'air très faibles auxquelles les conifères ne réagissent plus.

INTERVENANT Y - Quelles perturbations physiologiques observe-t-on sur les lichens en présence d'une pollution fluorée ?

JULIETTE ASTA - Il semble, selon Fields (1988), qu'elles suivent la même chronologie que pour les autres polluants gazeux : affectation de la nutrition azotée, fuite d'électrolytes, altération de la photosynthèse, puis de la respiration et enfin, destruction des pigments.

M. ROBERT/INRA - J'aimerais interroger Jean Marc Gougis, au sujet de cette pointe de pollution localisée au niveau de Rouen : est-ce un phénomène analogue à ce qui se passe dans les pays de l'Est, en Pologne par exemple ou en Allemagne ? Par ailleurs, dans les zones où il y a dépérissement de forêts, plus au nord, plus à l'est, a-t-on utilisé la méthode des bioindicateurs ?

JEAN-MARC GOUGIS - En ce qui concerne la mortalité des arbres constatée autour de Rouen, il semble qu'elle soit liée essentiellement à une très forte

dose de fluor. Les concentrations de SO<sub>2</sub> n'auraient pas été suffisantes pour provoquer la mort des sujets.

MARK SEAWARD - En ce qui concerne la question sur les pays de l'Est, il est très difficile d'y répondre : la Pologne, par exemple, est soumise à un cocktail de pollution, dont on ne maîtrise pas bien la composition. Les Polonais, qui exportent leur meilleur charbon contre des dollars, utilisent pour leur propre consommation le plus redoutable de tous nos combustibles, la lignite. En brûlant, celle-ci dégage non seulement des radio-éléments, mais aussi ce gaz assassin pour l'homme qu'est le *Béryllium*, mais dont les effets sur les végétaux sont bien différents de ceux du SO<sub>2</sub>. Ainsi, dans les montagnes de Pologne, on trouve des lichens sur les arbres, mais... les arbres sont morts et l'on constate le même phénomène dans les forêts allemandes. Il s'agit le plus souvent d'une espèce fruticuleuse du genre *Usnea*, qui réagit bien par rapport aux dépôts humides, tandis que d'autres lichens, tels que les *Parmelia*, succombent car, foliacés, ils vivent accolés intimement au tronc.

Pour répondre à votre seconde question, quand en Europe on se déplace vers l'est, on rencontre tout un ensemble de circonstances nouvelles dont il faut tenir compte pour mettre au point un nouveau protocole. Retenons simplement, comme l'a dit Serge Déruelle, que les lichens présentent l'avantage d'évaluer la qualité de l'air dans sa globalité, alors que les capteurs se bornent généralement à mesurer le dioxyde de soufre. Or, il s'avère actuellement impossible d'établir une corrélation entre leurs données et les informations obtenues par les lichens qui traduisent leurs réactions face à tout ce cocktail de polluants. L'interprétation est alors difficile. Personnellement, j'ai passé de longues années à n'étudier que 8 espèces de lichens. En effet, lorsqu'on augmente la diversité des observations, les interprétations deviennent plus difficiles. Ou bien, il faut alors tout le talent de Chantal Van Haluwyn pour travailler avec la phytosociologie !

INTERVENANT Y - Existe-t-il d'autres sortes de bioindicateurs que les lichens ? Mark Seaward a évoqué le rôle des insectes et j'aimerais en savoir plus...

MARK SEAWARD - Je répondrai en citant un poète anglais : "*Air fits for lichens, water fits for trout.*"

MARIE-AGNES LETROUIT-GALINOU - "*L'air doit convenir aux lichens; l'eau doit convenir aux truites*". C'est ainsi qu'on peut juger de la qualité de l'environnement.

MARK SEAWARD - Certes, il est possible de recourir à d'autres révélateurs en matière de pollution : mites, araignées, diptères, lépidoptères, mousses, champignons et bactéries sont autant de bioindicateurs intéressants, mais qui échappent à nos compétences de lichénologues.

INTERVENANT X - Je suis forestier en région parisienne et il me semble que l'on constate au centre d'un massif le même appauvrissement de la flore lichénique que pour la flore en général. Puis-je avoir l'avis d'un spécialiste?

MICHEL LEROND - Cela dépend du critère choisi, lumière ou pollution. D'une part, plus on va vers le centre de la forêt, au sein d'une parcelle, moins on dénombre de lichens, tout simplement parce qu'il y a moins de lumière : les lichens sont des plantes essentiellement héliophiles. D'autre part, par rapport à la distance d'éloignement d'une ville, plus on s'avance en massif forestier, plus on a de lichens, à condition toutefois de rester en lisière, c'est-à-dire dans des zones d'éclaircissement suffisant.

INTERVENANT Y - Mark Seaward a évoqué le triste sort de la Pologne, et je ne peux m'empêcher d'établir un rapprochement avec un autre type de pollution : la radio-activité. Entre les essais de bombes nucléaires et les accidents tels que celui de Tchernobyl, les exemples de contamination éventuelle ne manquent pas ! Comment ont-ils affecté la flore lichénique ?

CHANTAL VAN HALUWYN - Les lichens sont de bien meilleurs accumulateurs que les phanérogames, mais cette aptitude varie, bien sûr, en fonction de l'âge et de la nature des espèces, des conditions écologiques et climatiques, de la nature du radio-élément. C'est une qualité, si on considère le lichen comme le témoin de la pollution radio-active, mais n'oublions pas que le lichen représente dans certaines contrées nordiques le premier maillon de la chaîne alimentaire : lichen-caribou-homme. A cet égard, ses effets sont insidieux et redoutables.

INTERVENANT X - Une autre précision à demander à Serge Déruelle, quant à la cloche de pollution qu'il situe au-dessus de la région parisienne : cette constatation part-elle d'une hypothèse ou repose-t-elle sur des mesures réelles, prises par ballon stratosphérique ou autre ?

SERGE DERUELLE - La cloche de pollution en région parisienne est un phénomène connu et mesuré depuis plus de vingt ans. Quant à l'abaissement du dôme et à son élargissement aujourd'hui, une simple observation suffit : il y a vingt ans, le dôme de pollution était visible à partir de Rocquencourt, il s'est ensuite étendu à Fontenay, puis à St Cyr et effectivement, les mesures attestent d'un étalement progressif de la pollution dans cette zone-là.

Il en est de même de toutes les grandes villes : quand on survole l'Italie en avion, celles de Florence et de Milan sont également visibles d'assez loin ; en Russie, la cloche de pollution de Léninegrad se dessine à 1000 km alentours !

MARIE-AGNES LETROUIT-GALINOU - Nous allons accorder à notre ami Mark Seaward le mot de la fin et vous invitons tous ensuite à rejoindre David Ricks, Président du British Council et June Rollinson, Responsable de la Section Scientifique, pour un agréable cocktail de clôture. A nouveau, nous vous remercions d'avoir répondu à notre appel et vous engageons vivement à prolonger les discussions dans une atmosphère encore plus conviviale.



## CONCLUSION

by Mark R.D. SEAWARD

*Urban and industrial areas have complex environments, with polluted atmospheres differing widely in intensity and composition, the components of which may be acting independently or synergistically on lichen floras ; furthermore, this pollution load is influenced by topographical and climatological conditions which vary from area to area. The decline of lichens throughout Europe and elsewhere over the past two centuries is mainly attributable to increases in air pollution in general, and to sulphur dioxide in particular. The destructive role of other atmospheric pollutants, and indeed other factors, has either been masked by the overriding effects of sulphur dioxide or insufficiently appreciated due to the inadequacy of monitoring equipment.*

*Research has shown that qualitative as well as quantitative changes in air pollution due to shifts in energy and transportation policies on the one hand and economic and legislative factors on the other over the past twenty years are having significant effects on lichens floras. Recent advances in physiological and analytical techniques have revealed the very wide range of elements, compounds and radionuclides accumulated by lichens, certain of which are undoubtedly implicated in their decline. The versatility of lichens in highlighting not only the existence but also the rise and fall in levels of these pollution regimes has been demonstrated at this symposium. Biological monitoring is not advocated as a substitute for instrumental measurement of air pollution, but it is a most valuable adjunct, enabling environmental evaluation to be undertaken over very much larger areas than is economically and practically feasible by other methods.*

**ASSOCIATION FRANCAISE DE LICHENOLOGIE**

Président d'honneur : Georges CLAUZADE

**Président**

André BELLEMERE  
53; jardins Boieldieu  
92800 PUTEAUX  
Tel (1) 47 71 91 11 p 360  
Tel (1) 47 75 05 31

**Vice-président**

Serge DERUELLE  
Laboratoire de Cryptogamie  
Université P. et M. Curie  
7, quai St Bernard  
75252 PARIS CEDEX 05  
Tel (1) 44 27 59 70

**Secrétaire**

Jean-Claude BOISSIERE  
Lab. de Biologie Végétale  
Route de la Tour Dénécourt  
77300 FONTAINEBLEAU

Tel (1) 64 22 37 40

Fax (1) 60 72 68 16

**Trésorier**

Jean-Pierre GAVERIAUX  
14 Les Hirsons  
62800 LIEVIN

**Autres membres du Conseil d'Administration :**

Pierre Collin, Clothier Coste

Imprimé par les soins du Laboratoire de Cryptogamie  
Université P. et M. Curie

Directeur des publications de l'A.F.L.  
André BELLEMERE

1er tirage. DEPOT LEGAL : juillet 1993