Végétation lichénique et pollution atmosphérique dans la zone de Fos-sur-Mer : Premières observations

(R. RIEUX, 1977)

05

LICHENS ET QUALITÉ DE L'AIR

Par : C. REMY, Président d'ARNICA MONTANA (B.P. N° 144 05102 BRIANCON CEDEX)
Vice-Président de l'Association Française de Lichénologie.

CENTRE DE DOCUMENTATION
CNRS
31, Chemin J. Aiguier
13402 MARSEILLE CEDEX 20

VÉGÉTATION LICHÉNIQUE ET POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE DANS LA ZONE DE FOS-SUR-MER. PREMIÈRES OBSERVATIONS.

par R. RIEUX (1)

SUMMARY

The recently industrializated Fos-sur-Mer area is suitable to display from the origin the changes in Lichen vegetation. Observations deal with ground, non calcareous stones and holm-oak trees bark Lichen communities. It is a comparative study ; the reference area stands about twenty km northwards, near Mas Thibert and Mas d'Icard localities.

Here are recorded the earliest observations of changes during winter 1975-76.

Damaged thalli are found only in corticolous lichens. Damages are located on exposed parts of tree trunks. They are lesser even absent under shelter of undergrowth or foliage. Tree bases are untouched.

Different damages patterns are observed, some of which are already frequently reported from polluted areas :

- changes in thallus colour
- stunted growth of fruticose forms
- powdery alteration of various soredious lichens

In addition, spraying of lichenicolous fungi over numerous thalli, wasting out of dead lichens by saprophytic fungi and overgrowing of *Pleurococcus cf. vulgaris* on decaying or weaken thalli are noticed. Not at all are those damages characteristic of air pollution but their quantitative extent points out the active part worked by some components of cryptogamic flora.

Early changes appear as a mostly quantitative impoverishment, but, qualitatively, some species are very much damaged (fruticose species and the foliaceous lichen *Parmelia subaurifera*).

The establishment of a steady state between lichen vegetation and air pollution seems to require several years. Pollution appears to act as a limiting factor ; it has a direct action resulting in various damages and an ndirect action which modifies interspecific competitions.

RÉSUMÉ

La zone de Fos-sur-Mer, nouvellement industrialisée, permet de suivre à partir de l'origine les modifications de la végétation lichénique. Les observations concernent les peuplements terricoles, saxicoles calcifuges des galets et corticoles du Chêne vert. L'étude est comparative ; la zone de référence est prise à une vingtaine de km plus au N, au Mas Thibert et au Mas d'Icard.

Nous rapportons ici les premières observations, pratiquées au cours de l'hiver 1975-76.

Nous ne rencontrons de dégâts que sur la végétation corticole. Les dommages se situent sur la partie exposée des troncs et sont très atténués ou nuls sous protection du sous-bois ou des frondaisons. Aucune atteinte ne se manifeste au pied des arbres.

Nous observons différents types d'altérations, déjà fréquemment relatés en zones polluées :

- altérations de la couleur du thalle
- rabougrissement des lichens fruticuleux
- altération pulvérulente de divers lichens sorédiés.

Nous remarquons en outre l'envahissement d'un grand grand nombre de thalles par des Chamgignons lichénicoles l'élimination des thalles morts par des Champignons saprophytes et l'encroûtement des thalles dépérissants par *Pleurococcus cf. vulgaris*. Ces atteintes ne sont aucunement caractéristiques de la pollution atmosphérique mais leur abondance considérable en zone polluée montre le rôle actif joué par certains éléments de la flore cryptogamique.

Les premières atteintes semblent se traduire par un appauvrissement surtout quantitatif, mais qualitativement, quelques espèces sont très touchées (espèces fruticuleuses, et le lichen foliacé *Parmelia subaurifera*).

L'installation d'un état d'équilibre entre la végétation lichénique et la pollution atmosphérique semble requérir plusieurs années. La pollution paraît jouer le rôle d'un facteur limitant, ayant une action directe qui provoque diverses altérations, et une action indirecte qui modifie les concurrences interspécifiques.

(1) Assistant à l'I.N.R.A. Station d'Etude de la Pollution Atmosphérique - Domaine de St-Paul 84140 Montfavet

INTRODUCTION

Le caractère récent de la zone industrielle de Fos permet de suivre, à partir de l'origine, les modifications subies par la végétation lichénique sous l'influence de la pollution atmosphérique. L'intétêt particulier du site de Fos est de se prêter à l'observation d'un processus dynamique en cours de déroulement, situation bien différente de l'observation d'une végétation résiduelle qui a acquis son équilibre avec une pollution chronique.

L'étude concerne la végétation lichénique de la zone Fos-sur-Mer et ses environs. La région sur laquelle est implantée cette zone industrielle comprend deux parties qui diffèrent par leur origine géologique et leur couverture végétale.

I . PRÉSENTATION DE LA ZONE ÉTUDIÉE

A - Sol :

La partie ouest de cette zone est marécageuse, constituée par des alluvions du Rhône et se rattache à la Camargue, alors que la partie orientale, sèche, appartient à la Crau würmienne, constituée comme elle par des alluvions duranciennes et caractérisée par des galets du type actuel, surtout non calcaires ; ce n'est qu'à partir de l'ancien village de Fos que l'on rencontre la molasse calcaire éomiocène.

B - Végétation : .

La partie Ouest du site est occupée essentiellement par des roselières (Phragmitaies), des éléments de la ripisilve méditerranéenne (*Populetum albae*). Quelques formations à salicornes se développent également en bordure de zones marécageuses salées.

La végétation de la zone Est du site est totalement différente : nous y retrouvons l'association à Asphodèle fistuleux de la plaine caillouteuse de la Crau, des ilôts denses de garrigue à *Quercus coccifera* et plusieurs bosquets de Chêne vert, jusqu'à proximité des installations industrielles. Des éléments de la populaie ne sont présents en cette zone qu'au niveau de quelques dépressions et le long de quelques canaux.

La végétation lichénique est évidemment en partie conditionnée par la nature du sol et de la végétation phanérogamique. On remarque notamment la rareté des supports calcaires naturels sur tout le site : galets de calcaire noir triasique parmi les alluvions duranciennes. On rencontre toutefois des substrats calcaires artificiels : murs en ciment, constructions de béton, notamment restes de blockhaus, constructions anciennes de mortier et de pierres, ponts, bornes, bordures de canalisations. On note aussi, dans la zone Ouest, la pauvreté en phorophytes, localisés dans les seuls espaces occupés par la populaie.

C. Industries :

La zone industrielle couvre près de 6000 ha, occupés par la sidérurgie (Solmer, Ugine Aciers, C.F.E.M.), les raffineries (Esso) et les usines de produits chimiques (I.C.I., Ugine Kulhmann) auxquelles s'ajoutent quelques autres industries, notamment celles impliquant le stockage d'hydrocarbures (Port autonome de Marseille, Société du Pipe-line Sud-Européen, Gaz de France, Air Liquide, Dépôts de Fos).

Le site industriel représente une zone de terrains entièrement remaniés à la suite de la suppression de plans d'eau, creusement de darses, enfouissement de lignes électriques, canalisations et pipe-lines.

II. NATURE DE LA POLLUTION

Les différentes industries sont à l'origine d'une pollution complexe où domine le dioxyde de soufre (sidérurgie, raffineries).

La sidérurgie en rejette la plus grosse part. Les émissions comportent également de l'oxyde de carbone, des fumées contenant des oxydes de fer, des poussières à particules de chaux et des oxydes de manganèse.

Les raffineries dispersent en outre des oxydes d'azote, des hydrocarbures, de l'hydrogène sulfuré et des mercaptans dont l'odeur désagréable est perçue même à des concentrations infimes.

Les usines de produits chimiques rejettent divers acides minéraux mais en quantités minimes.

Outre les effets spécifiques des polluants en présence, peuvent s'envisager leurs effets synergiques. Les conditions particulières du site de Fos rendent également vraisemblable l'éventualité d'une pollution oxydante, le mélange des polluants pouvant entraîner la formation d'un smog photochimique.

Les vents affectent fortement le régime de la pollution. Le mistral souffle du nord-ouest avec suffisamment de puissance pour disperser les polluants et les chasser vers la mer, mais il n'agit que 20 % du temps.

Les brises de mer soufflent pendant plus des deux tiers du temps et contribuent à rabattre vers l'intérieur les émissions du site en ajoutant à la pollution locale une partie du panache de la bordure Est du golfe de Fos et de l'Etang de Berre (Communes de Martigues-Lavéra, Martigues-Ponteau, Châteauneuf-les-Martigues, Port-de-Bouc, Berre), où fonctionnent les raffineries Schell, B.P., C.F.R., la pétrochimie Naphtachimie, une centrale E.D.F. et les installations S.I.D.L.).

III. MÉTHODE D'ÉTUDE

Les observations de la flore lichénique sont comparatives, conduites dans la zone polluée et dans une zone « pure » de référence. Les relevés sont effectués dans des milieux homologues et tiennent compte de la nature du support et du niveau par rapport au sol.

Les différences de sol et de végétation entre la partie orientale et occidentale de la zone étudiée ainsi que les remaniements de terrain dûs aux travaux d'aménagement du site industriel rendent difficile la rencontre de supports répandus sur l'ensemble de la zone considérée.

Nos observations concernent donc surtout la partie orientale de la zone industrielle de Fos. Nous considérons la végétation lichénique des troncs de Chêne vert, phorophyte de beaucoup le plus répandu, présent jusqu'à proximité des usines, la végétation lichénique des galets non calcaires et la végétation lichénique terricole.

Les stations pures de référence sont prises en Crau, à une vingtaine de km au nord de la zone de Fos : au Mas Thibert pour la végétation lichénique du chêne vert, au Mas Thibert et au Mas d'Icard pour les lichens terricoles, au Mas d'Icard pour la végétation lichénique saxicole calcifuge.

Nous rapportons ici les premières atteintes observées sur la végétation lichénique du site industriel de Fos.

La végétation lichénique calcicole ne figure pas dans cette étude ; d'une grande richesse qualitative et quantitative, elle n'accuse pour le moment aucun symptôme de dépérissement. Son étude détaillée offre un intérêt floristique certain mais ne présente actuellement aucune valeur indicatrice vis-à-vis de la pollution atmosphérique ; aussi nous proposons-nous de suivre ultérieurement ses modifications éventuelles.

IV. COMPOSITION DE LA VÉGÉTATION LICHÉNIQUE

Nous indiquons par les abréviations « f » ou « st » l'état fertile ou stérile du thalle.

A. Végétation lichénique des troncs de Chêne vert :

1 - *Zone de référence*

a) Lichens fruticuleux :

Pseudevernia furfuracea (L.) Zopf	st
Ramalina canariensis Steiner	st
Ramalina farinacea (L.) Ach.	st
Teloschistes chrysophtalmus (L.) Th. Fr.	f
Usnea laricina Vain.	st

b) Grands Lichens foliacés :

Parmelia acetabulum (Neck.) Duby	f
Parmelia caperata (L.) Ach.	st
Parmelia carporrhizans Tayl.	f
Parmelia perlata (Huds.) Ach.	st
Parmelia physodes (L.) Ach.	f
Parmelia subreducta Nyl.	st
Parmelia sulcata Tayl.	st
Parmelia tiliacea (Hoffm.) Ach.	st

c) Petits Lichens foliacés :

Candelaria concolor (Dicks.) Stein	parfois f
Parmelia subaurifera Nyl.	st
Physcia adscendens (Th. Fr.) Oliv. *em.* Bitter	parfois f
Physcia aipolia (Ehrht.) Hampe	f
Physcia biziana (Massal.) Zahlbr.	f
Physcia grisea (Lamk.) Lett.	st
Physcia hirsuta Mereschk.	parfois f
Physcia elaeina (SM.) A.L. S.M.	parfois f
Physcia leptalea (Ach.) DC.	f
Physcia luganensis Mereschk.	st
Physcia orbicularis (Neck.) Poetsch *em.* DR. et sa variété *virella* (Ach.) A.L. S.M.	st
Xanthoria candelaria (L.) Th. Fries	st
Xanthoria parietina (L.) Th. Fries	f

d) Lichens crustacés (tous fertiles) :

Caloplaca cerina (Ehrht.) Th. Fr.
Caloplaca ferruginea (Huds.) Th. Fr.
Caloplaca haematites (Chaub.) Zw.
Caloplaca pyracea (Ach.) Th. Fr.
Candelariella xanthostigma (Pers.) Lett.
Catillaria nigroclavata (Nyl.) Schul.
Lecanora allophana (Ach.) Nyl.
Lecanora chlarotera Nyl.
Lecanora chlarotera Nyl. f. *rugosella* (Zahlbr.) Poelt
Lecanora strobilina Ach. (= *Lecanora conizaea auct.*)
Lecanora subfusca (L.) Ach. *em.* Hue
Rinodina pyrina (Ach.) Arn.

e) Lèpres :

Lepraria latebrarum Ach. (semblant correspondre à *Parmelia caperata* (L.) Ach. essentiellement)

2 - *Zone de Fos* :

La végétation lichénique de la zone de Fos est très semblable à celle de la zone de référence. Nous y retrouvons le même cortège, sauf, parmi les lichens fruticuleux, *Pseudevernia furfuracea* ; parmi les lichens crustacés, nous rencontrons en outre :

Lecanora hagenii Ach.	f
Schismatomma decolorans (Turn. et Borr.) Clauz. et Vezda	st
Schismatomma picconianum (Bagl.) Steiner	f

ces deux dernières espèces semblant indiquer un climat local légèrement plus chaud que celui de la zone de référence.

B - Végétation lichénique des galets siliceux :

1 - *Zone de référence* :

a) Lichens foliacés :

Parmelia delisei (Duby) Nyl.	f
Parmelia stenophylla (Ach.) Heug.	f
Parmelia tinctina Mah. et Gil.	en général f

b) Lichens crustacés :

Acarospora atrata Hue	f
Aspicilia hoffmannii (Ach.) Flag.	f
Aspicilia intermutans (Nyl.) Arn.	f
Buellia ambigua (Ach.) Malme	f
Buellia lactea (Massal.) Kœrb.	f
Buellia punctata (Hoffm.) Massal	f
Caloplaca atroflava (Turn.) Mong.	f
Caloplaca carphinea (Fr.) Jatta	f
Caloplaca cravensis (Clauz. et Wunder) *comb. nov.* (2)	f
Caloplaca diphyodes (Nyl.) Jatta	f
Caloplaca festiva (Ach.) Zw., à thalle très développé	f
Caloplaca rubelliana (Ach.) Lojka	f
Candelariella vitellina (Ehrht.) Müll. Arg.	f
Diploschistes actinostomus (Pers.) Zahlbr.	f
Lecanora atra (Huds.) Ach.	f
Lecanora campestris (Schaer.) Hue	f
Lecanora clauzadei B. De Lesd.	f
Lecanora muralis (Schreb.) Rabenh.	f
Lecidea albocoerulescens (Wulf.) Ach.	f
Lecidea albuginosa Nyl.	st
Lecidea athroocarpa Ach.	f
Lecidea carpathica (Kœrb.) Szat.	f
Lecidea sarcogynoides Kœrb.	f
Rhizocarpon geographicum (L.) D.C.	f
Rinodina atrocinerea (Kicks.) Kœrb.	st
Rinodina luridescens (Anzi.) Arn.	f
Sarcogyne simplex (Dav.) Nyl.	f

2 - *Zone de Fos*

Nous retrouvons dans la zone de Fos un cortège de lichens très semblable, sur les étendues toutefois beaucoup moins vastes, d'où vraisemblablement un effet de lisière avec les bosquets environnants, qui pourrait expliquer certaines des différences constatées, notamment la présence de :

Verrucaria fusconigrescens Nyl. (route de la Fenouillère vers Istres)	f

qui accompagne *Rinodina atrocinerea* st

Nous rencontrons en outre :

Caloplaca ferrarii (Bagl.) Jatta	f
Lecidea grisella Floerke	f
Sarcogyne privigna (Ach.) Anzi	f

ainsi que, près d'une bergerie, station riche en nitrates :

Lecania rabenhorstii (Hepp.) Arn.	f
Rinodina salina Degel.	f

C - Végétation lichénique terricole

1 - *Zone de référence*

a) Endroits découverts (autour du Mas d'Icard) :

Acarospora schleicheri (Ach.) Massal.	f
Biatorella fossarum (Duf.) Th. Fr.	f
Buellia punctata (Hoffm.) Massal terricole	f
Candelariella aurella (Hoffm.) Zahlbr. ? terricole	st
Catillaria schumannii Koerb. *ex* Stein	f
Cladonia foliacea (Huds.) Schaer. *var. convulota* (Lamk.) Vain.	st
Cladonia furcata (Huds.) Schrad. *var. palamaea* (Ach.) Nyl.	st
Cladonia symphicarpia (Floerke) Arn.	st mal développé
Cladonia verticillata Hoffm. var. *cervicornis* (Ach.) Floerke	st mal dévelop.
Collema tenax (Sw.) Ach. *em.* Degel	
Cornicularia aculeata (Schreb.) Ach.	st
Dermatocarpon trapeziforme (Koenig) Trevis.	f
Diploschistes bryophilus (Ehrht.) Zahlbr. (parfois parasité par *Leciographa malençoniana*) Llimona	f
Endocarpon pusillum Hedw.	très fréquent f
Endocarpon simplicatum Nyl.	très fréquent, f
Epiphloea terrena (Nyl.) Trevis.	rarement f
Fulgensia fulgens (Sw.) Elenk.	f
Microglaena muscorum (Fr.) Th. Fr.	f
Parmelia prolixa (Ach.) Carroll *var. pokornyi* (Koerb.) Zahlbr.	st
Parmelia stenophylla (Ach.) Heug. forme *hypoclista* (Nyl.) H. Magn.	f
Psora decipiens (Hedw.) Hoffm.	f
Psora gresinonis B. de Lesd.	f
Squamarina crassa (Huds.) Poelt	f
Squamarina concrescens (Müll. Arg.) Poelt *var. cravense* Clauz. et Roux	f
Squamaina lentigera (Web.) Poelt	f
Thrombium aoristum (Nyl.) Arn.	f
Toninia coeruleonigricans (Lightf.) Th. Fr.	f

(2) = *Caloplaca conversa* (Krempelh) Jatta *var. cravensis* Clauz. et Wunder *in* H. Wunder 1974 : *Schwarzfruchtige, saxicole Sippen der Gattung Caloplaca (Lichenes, Teloschistaceae) in Mettileuropa, dem Mittelmeergebeit und Vorderasien.* J. Cramer ed., p. 126.

Toninia glaucomela (Nyl.) Boist.	f
Toninia opuntioides (Vill.) H. Baumg.	très fréquent et f

Parmi ces espèces se trouvent les lichens qui appartiennent typiquement au *Tillaeetum*, localisés dans des zones argilo-sableuses décalcifiées, en légère dépression et humides :

Catillaria schumanmii
Epiphloea terrena
Endocarpon pusillum
Endocarpon simplicatum
Psora gresinonis
Thrombium aoristum
Toninia glaucomela

Nous remarquons aussi des éléments du *Fulgensietum fulgentis*, pouvant signaler des passages légèrement enrichis en nitrates :

Dermatocarpon trapeziforme
Fulgensia fulgens
Psora decipiens
Squamarina lentigera
Toninia coeruleonigricans

ainsi que quelques éléments du *Cladonietum endiviaefoliae*, calcicole, et du *Cladonietum symphicarpiae*, également calcicole mais plus septentrional, qui indiquent la présence dans le sol d'une faible quantité de calcaire.

b) Entre les arbustes du *Cocciferetum* (région du Mas Thibert)

Nous rencontrons surtout des représentants du *Cladonietum endiviaefoliae* :

Cladonia fimbriata (L.) Fr.	f
Cladonia foliacea (Huds.) Schaer. *var. convoluta* (Lamk.) Vain	st
Cladonia furcata (Huds.) Schrad. *var. palamaea* (Ach.) Nyl.	st
Cladonia pyxidata (L.) Fr.	f
Cladonia rangiformis Hoffm. *var. pungens* (Ach.) Vain. forme *foliosa*	parfois f
Cladonia subrangiformis Sandst.	st
Cladonia verticillata (Hoffm.)	

Biatorella fossarum
Buellia punctata terricole
Candellaria aurella terricole (vraisemblablement exceptionnel)
Catillaria schumannii
Cladonia symphicarpia
Cladonia verticillata
Conicularia aculeata
Endocarpon pusillum
Endocarpon simplicatum
Epiphloea terrena
Microglaena muscorum
Parmelia prolixa var. pokornyi
Thrombium aoristum
Toninia glaucomela
Toninia opuntioides

L'absence de ces espèces peut s'expliquer en partie par un climat plus chaud (*Cladonia symphicarpia* a été éliminé), en partie par le choix de stations localement plus sèches où font défaut les dépressions à *Tillaeetum*.

b) Entre les arbustes du *Cocciferetum*

La végétation lichénique est tout à fait semblable à celle de la zone de référence, à l'absence près de *Cladonia subrangiformis*.

Remarques générales :

La zone de référence, choisie physionomiquement, s'est avérée fournir des milieux tout à fait homologues à ceux de la zone étudiée, comme en témoigne, du point de vue qualitatif, la quasi identité de leur cortège lichénique, mise à part toutefois l'absence des espèces du *Tillaeetum*.

V. ALTÉRATIONS OBSERVÉES SUR LA VÉGÉTATION LICHÉNIQUE DE LA ZONE DE FOS-SUR-MER.

1 - Répartition des dégâts

Les stations atteintes sont les plus proches des usines. Elles sont soumises aux niveaux de pollution les plus élevés enregistrés sur le site : station du « Carrefour de la Fenouillère », station du « Carrefour du Chêne Vert ». Ailleurs, les dégats deviennent beaucoup moins nombreux et beaucoup moins apparents : à 3 ou 4 km des usines, en direction d'Istres, aucune altération n'est observable.

Seule la végétation lichénique corticole est atteinte : aucune altération n'a été relevée sur la végétation lichénique saxicole des galets siliceux : les grands lichens foliacés, *Parmelia stenophylla* et *Parmelia tinctina*, sont intacts ; les détériorations de *Parmelia delisei* sont uniquement mécaniques et dues notamment à des passages d'animaux : on peut rencontrer ces mêmes altérations partout en Crau.

Aucune modification non plus n'a été observée au niveau des associations lichéniques terricoles. En particulier, les grands fruticuleux comme *Cladonia rangiformis* sont en parfait état ainsi que les grands foliacés tels que *Cladonia foliacea*.

La végétation lichénique des troncs de Chêne vert montre en revanche diverses atteintes, limitées aux parties exposées du tronc, depuis une soixantaine de cm au dessus du sol jusqu'à une hauteur de 1.80 m à 2 m. On n'observe que peu ou pas de dégâts sous couvert du sous-bois ou sur les branches protégées par les frondaisons.

Les espèces touchées sont essentiellement des lichens fruticuleux et des lichens foliacés, mais aussi quelques petits lichens crustacés.

Lichens fruticuleux :

Usnea laricina
Ramalina farinacea
Evernia prunastri

Lichens foliacés :

Parmelia sulcata
Parmelia subreducta
Parmelia caperata
Physcia biziana
Physcia luganensis
Physcia adscendens
Physcia hirsuta
Physcia orbicularis
Physcia elaeina
Xanthoria parietina

En zone polluée, la présence de *Parmelia subaurifera* n'a pas été relevée, ni à la Feuillane, ni aux Carrefours du Chêne Vert et de la Fenouillère : ce serait donc une espèce déjà éliminée de ces stations, qui sont précisément les plus exposées à la pollution.

Lichens crustacés :

Lecanora sienae
Lecanora subfusca
Schismatomma decolorans
Lecidea limitata

2 - Description des dégâts

a) Altérations de la couleur du thalle

1°) Aspect macroscopique

Un grand nombre de lichens foliacés présentent des colorations anormales et meurent, surtout les grands foliacés *Parmelia sulcata* et *Parmelia subreducta*, ainsi que quelques individus de *Parmelia caperata*. Quant à *Parmelia subaurifera*, absent au voisinage des usines, il se retrouve altéré et chlorotique plus à l'écart, dans une frange à la périphérie de cette zone.

Au voisinage des usines, *Physcia biziana*, *Physcia luganensis*, *Physcia adscendens* sont également atteints.

Ces lichens présentent des plages plus ou moins grandes colorées en rose ou violacé clair, brunâtre, jaunâtre, ou décolorées et blanchâtres. Ces altérations peuvent s'étendre irrégulièrement à des surfaces plus ou moins importantes du thalle ou à sa totalité.

Des taches parfois assez vives s'observent souvent chez les grands lichens foliacés. *Parmelia subaurifera* prend surtout des teintes jaunâtres, brunâtres ou devient très érodé et blanchâtre.

Des thalles présentent une moindre adhérence à leur support au niveau des plages dyschromiques. Des craquelures apparaissent et ces zones nécrosées subissent une érosion et une décoloration puis se fragmentent ou même se détachent par petits lambeaux et disparaissent, le processus pouvant s'étendre à l'ensemble du thalle.

Parmi certaines espèces de lichens crustacés, nous avons également observé des individus qui meurent et se décolorent : *Lecanora sienae* et *L. subfusca* deviennent blanchâtres et subissent alors une érosion importante jusqu'à ne plus être identifiables. Nous n'avons pas remarqué cette altération chez *Lecanora chlarotera*, espèce poutrant très voisine et fréquemment rencontrés dans ces stations.

2°) Aspect microscopique

Observés en coupes, les thalles anormalement colorés montrent la persistance de leur structure stratifiée. L'altération la plus visible concerne la couche algale qui est complètement morte.

Les plages roses, brunes ou jaunâtres de *Parmelia sulcata*, *Parmelia subreducta*, *Parmelia caperata*, présentent une couche algale brune où l'on peut reconnaître les *Trebouxia* qui ont pris une couleur brun roux et possèdent un chloroplaste rétracté brun noir. L'ensemble de la coupe, et notamment le cortex supérieur, est envahi par une pigmentation diffuse anormale.

A ces altérations peuvent s'ajouter l'érosion du cortex supérieur, la dépigmentation complète du thalle, la désagrégation du cortex inférieur.

Des coupes dans des zones incomplètement mortes du thalle, en cours de rosissement, permettent de retrouver chez l'algue les dégâts de nombreuses fois observés dans des cas de pollution atmosphérique : ils concernent principalement l'altération du chloroplaste et l'apparition sur celui-ci de petites taches brun-noir, sa rétraction en une masse brune ou sa décoloration, et la plasmolyse irréversible de l'algue.

La détérioration de ces lichens semble avoir essentiellement pour point de départ le dépérissement de leur algue symbiotique, plus sensible que le champignon associé.

b) Rabougrissement des lichens fruticuleux

1°) Aspect macroscopique

En ce qui concerne les lichens fruticuleux *Usnea laricina Ramalina farinacea*, *Evernia prunastri*, le rabougrissement de leur thalle constitue le caractère le plus visible, affectant régulièrement tous les individus exposés : ces lichens se présentent sous la forme de petits amas de ramifications courtes et serrées ; les thalles les plus dégradés de ces trois espèces sont de toute petite taille et prennent un aspect très semblable. *Usnea laricina* reste cependant reconnaissable à ses rameaux cylindriques ; la réaction colorée d'*Evernia prunastri* avec la potasse (jaunissement) est conservée et permet la distinction d'avec *Ramalina farinacea*. Ensuite ces thalles ternissent, deviennent cassants et se désagrègent.

2°) Aspect microscopique

Le thalle conserve également sa structure. On retrouve chez les individus ternis ou dégradés et et en cours de décoloration les mêmes altérations que celles relevées chez les lichens foliacés : couleurs anormales et dépérissement de l'algue symbiotique jusqu'à la mort complète de toute la couche algale.

c) Altération pulvérulente de Physcia luganensis

1°) Aspect macroscopique

Le thalle de *Physcia luganensis* est parfois envahi par une pluvérulence verdâtre que nous hésitons à assimiler à de véritables sorédies. Ces formations, plus vertes que les soralies normales marginales et labriformes de cette espèce, tendent au contraire à se développer sur la quasi totalité de la surface du lichen ; celui-ci devient méconnaissable. Le phénomène peut se poursuivre jusqu'à la disparition complète du thalle.

Au cours de cette altération, l'algue verte *Pleurococcus sp.* peut également proliférer en surface et recouvrir les restes du lichen.

2°) Aspect microscopique

Les zones pulvérulentes verdâtres du thalle de *Physcia luganensis* montrent un cortex supérieur érodé ou absent et une couche algale dispersée dans la médulle. La structure du thalle est fortement désorganisée mais le cortex inférieur est encore présent. Aux premières observations, les glomérules de la couche pulvérulente sont assez semblables à des sorédies ; les différences consisteraient en un aspect plus apparent des algues : celles-ci paraissent moins densément emprisonnées par le champignon du lichen et constituent des glomérules très irréguliers.

A un stade plus avancé, l'ensemble de la médulle est affecté par cette désorganisation. Le cortex inférieur lui-même se résoud en une couche arachnoïde. Ce processus de la disparition de la structure stratifiée avec survie de l'algue symbiotique et résolution du thalle en glomérules lâches aboutit à une forme lépreuse qui se laisse recouvrir par les amas cellulaires du *Pleurococcus* environnant.

Nous retrouvons aussi cette altération pulvérulente chez des *Physcia* de petite taille, tels que *P. hirsuta*, *P. orbicularis* et *P. elaeina*.

On observe un phénomène analogue chez *Schismatomma decolorans*, lichen souvent très sorédié, mais à Trentepohliacées. L'extension des sorédies s'accompagne en effet d'une érosion pulvérulente, jusqu'à disparition complète du thalle.

d) - Désorganisation des thalles

1°) Aspect macroscopique

Nous observons chez plusieurs espèces,

Physcia adscendens,
Xanthoria parietina,
Lecanora chlarotera,
Lecidea limitata,
Schismatomma picconianum,

des altérations du cortex supérieur et une désorganisation du thalle qui semble se découper en compartiments spongieux. Cette dégradation du thalle semble relever de la transformation du lichen en une lèpre.

A ce processus se superpose fréquemment, et parfois très tôt, un envahissement par le *Pleurococcus sp.* environnant.

2°) Aspect microscopique

L'observation microscopique montre chez *Physcia adsendens*, *Xanthoria parietina*, *Lecanora chlarotera*, *Lecidea limitata*, une érosion ou une dislocation du cortex supérieur et une dispersion des algues dans la médulle. Ces transformations entrainent la disparition de la structure stratifiée du lichen. Puis se produit un amincissement de la médulle devenue externe et la dissociation du cortex inférieur chez les espèces qui le possèdent. Le résultat de cette désorganisation est une sorte de lèpre.

Cette altération lépreuse est fréquemment accompagnée d'un parasitisme par un champignon du genre *Torula*.

Chez *Physcia adscendens*, seuls les lobes ascendants, sorédiés, se résolvent en érosion pulvérulente ; le reste du thalle s'altère sans produire de glomérules « sorédiaux », à la manière des lichens non sorédiés.

e) - Envahissement par des champignons saprophytes

1°) Aspect macroscopique

Les thalles morts et anormalemnet colorés, à différents états de dégradation, sont très souvent envahis par un feutrage blanchâtre de filaments de champignon semblable à une moisissure. Ce champignon se développe sur les plages chlorotiques ou nécrosées des lichens foliacés :

Parmelia caperata
Parmelia subreducta
Parmelia sulcata
Physcia adsendens
Physcia aipolia
Physcia biziana
Physcia luganensis

et se rencontre aussi sur les petits lichens crustacés :

Lecanora sienae
Lecanora subfusca.

2°) Aspect microscopique

Les zones des lichens foliacés ou crustacés où se développe le feutrage mycélien blanchâtre sont totalement mortes et présentent des dégradations très importantes : la structure du thalle n'est reconnaissable que par places, mais on n'y retrouve jamais d'algue vivante. L'envahissement par un mycelium incolore abondant désorganise les structures qui subsistaient encore après l'apparition des couleurs anormales.

Ces champignons se comportent en saprophytes sur les thalles qu'ils envahissent et dont ils achèvent la destruction.

f) Envahissement par Illosporium roseum

1°) Aspect macroscopique

Des plages couvertes de glomérules roses s'étendent sur les thalles dépérissants de certains foliacés, notamment :

Parmelia caperata
Parmelia subreducta
Parmelia sulcata
Physcia aipolia
Physcia biziana
Physcia luganensis

et correspondent à l'envahissement par le champignon parasite *Illosporium roseum* (Schreb.) Martin.

2°) Aspect microscopique

Les portions du thalle des *Parmelia* et *Physcia* colonisées par *Illosporium roseum* sont initialement vivantes et présentent encore des *Trebouxia* vertes dans leur couche algale. Une fois densément recouvertes par les glomérules fructifères du parasite, ces plages du thalle sont entièrement mortes, très friables, et plus ou moins désorganisées.

Le thalle des lichens ainsi attaqués est finalement détruit en totalité par les saprophytes. On ne distingue plus alors sur le tronc que la surface

vide de leur ancienne implantation, rapidement colonisée par l'algue verte environnante que nous rapprochons de *Pleurococcus vulgaris*. MENEGH.

g) « *Altération noire* » *de Xanthoria parietina*

1°) Aspect macroscopique

Une altération particulière que nous n'avons relevée que chez *Xanthoria parietina* affecte cette espèce au voisinage du périmètre industriel. Dans un premier temps, le thalle se dépigmente, devient verdâtre et terne, ressemblant à celui d'individus qui ont poussé à l'ombre. De tels lichens sont encore vivants, mais vraisemblablement affaiblis. Le plus souvent, ils présentent alors une altération noire qui envahit les apothécies et recouvre également le thalle.

2°) Aspect microscopique

Le thalle et davantage encore les apothécies se montrent couverts de sphérules noires régulières. Le thalle conserve sa structure stratifiée mais présente fréquemment une érosion superficielle. Le thalle et les apothécies sont parcourus par un mycelium brun clair diffus.

Les zones initialement colonisées par ce champignon parasite possèdent une couche algale où se trouvent des *Trebouxia* vivantes, puis, avec la prolifération du parasite se produit la dégénérescence du thalle qui se fragmente et devient pulvérulent. Cette altération noire est fréquenmemt associée à un envahissement superficiel par *Pleurococcus*.

Nous avons tenté de déterminer le champignon responsable de cette attaque spécifique. Il s'agit d'un champignon imparfait (Deutéromycète), se reproduisant par conidies sans produire de pycnides (Hyphomycète).

Les conidies sont brun noirâtre, simples, sphériques, régulières, à membrane lisse et mesurent environ 2,5 à 3 microns de diamètre. Elles forment des accumulations irrégulières saillantes mais demeurent non réunies entre elles, ces amas se résolvant facilement. Les taches noires visibles sont constituées par ces amas de conidies. Le mycelium est brun clair, diffus et difficile à observer ; il ne produit aucune déformation du thalle.

Ce champignon parasite nous semble très proche des genres *Spilomium* ou *Coniosporium*, connus pour produire de telles altérations.

h) *Envahissement par Pleurococcus sp.*

1°) Aspect macroscopique

De nombreux lichens dépérissants se laissent envahir par une algue verte. On observe, en de nombreux points de la surface de leur thalle, le développement d'efflorescences d'un vert vif, constituées par les amas de l'algue. Ces formatoins ont tendance à confluer et recouvrent d'un véritable encroûtement l'ensemble du lichen.

2°) Aspect microscopique

L' « altération verte » qui se développe sur ces espèces n'est pas dûe à la prolifération de l'algue symbiotique mais à celle d'un *Pleurococcus* qui paraît identique à celui des écorces à l'entour (*Pleurococcus cf. vulgaris*). Celui-ci est capable de recouvrir le thalle et les apothécies de lichens morts ou diversement nécrosés et décolorés, mais aussi des lichens vivants affectés par la désorganisation lépreuse. Il est alors possible chez ceux-ci de faire la différence entre la Chaetophoracée *Pleurococcus sp.* et l'algue symbiotique, qui est suivant le cas une Chlorococcacée du genre *Trebouxia* (chez *Physcia, Xanthoria, Lecanora, Lecidea*) ou une Trentepohliacée (chez *Schismatomma*).

3 - Interprétation des altérations

a) *Altérations de la couleur du thalle*

Parmi les dégâts observés, nous retrouvons des altérations souvent mentionnées par différents auteurs, sur des lichens en place ou transplantés en sites pollués ou bien testés au laboratoire, principalement sous l'effet du dioxyde de souffre, mais aussi dans les cas de pollution fluorée (BRODO 1961, LEBLANC et RAO 1966, GILBERT 1968, SKIE 1968, SCHOENBECK 1969, LEBLANC, COMEAU et RAO 1971, COMEAU et LEBLANC 1971, NASH 1971, GILBERT 1973, LEBLANC et RAO 1973).

Les altérations de l'algue symbiotique relevées chez les lichens, surtout foliacés et fruticuleux, qui présentent des nécroses ou des décolorations du thalle, corroborent les nombreuses observations concernant la toxisensibilité plus grande du constituant algal de la symbiose (VARESCHI 1953, DE SLOOVER 1964, LEBLANC et RAO 1966, RAO et LEBLANC 1966, LEBLANC 1969, LAUNDON 1970, MARGOT 1971, COMEAU et LEBLANC 1971, NASH 1971, BRODO 1972, GILBERT 1973, LEBLANC et RAO 1973, etc...).

Les nécroses concernent essentiellement l'algue, qui subit une plasmolyse irréversible et une détérioration de son chloroplaste, avec l'altération de la chlorophylle *a* en phaeophytine *a* (RAO et LEBLANC 1966, LEBLANC et RAO 1966, LEBLANC 1969, COMEAU et LEBLANC 1971, LEBLANC et RAO 1973).

LEBLANC et RAO (1966) remarquent en effet que le faible contenu en chlorophylle des lichens pourrait être, entre autres, responsable de la sensibilité particulière de ces végétaux.

Le dépérissement qui frappe initialement l'algue aurait alors pour conséquence la mort du lichen.

De telles altérations de la couleur du thalle, avec mort de l'algue, et suivies de la fragmentation du lichen, s'observent aussi en conditions non polluées, en cas d'agressions chimiques dues à des causes naturelles ou à des brûlures thermiques, mais revêtent un acractère isolé et tout à fait accidentel.

b) *Rabougrissement des lichens fruticuleux*

Certains lichens accusent un rabougrissement marqué. Cette atteinte se manifeste avec constance chez les formes fruticuleuses et parfois aussi chez certaines formes foliacées ou intermédiaires telles que *Physcia adscendens* ou *Physcia luganensis* Ce rabougrissement revêt tout à fait l'aspect observé par différents auteurs dans d'autres cas de pollution industrielle ou urbaine (DE SLOOVER 1964, GILBERT 1970, LEBLANC et DE SLOOVER 1970, GILBERT 1973...).

DE SLOOVER (1964) relate : « de colonies étendues, ils passent à des thalles isolés de plus en plus

rabougris ou même méconnaissables. Les espèces disparaissent les unes après les autres ».

Le rabougrissement de *Ramalina farinacea*, *Usnea laricina*, *Evernia prunastri*, est tout à fait semblable à celui observé par GILBERT (1970) chez *Usnea subfloridana* et *Evernia prunastri*, et correspond à une étape qui précède l'élimination de ces espèces.

c) Rôle des Champignons lichénicoles

A l'ensemble des remarques précédentes concernant les figures de dépérissement rencontrées, il convient de souligner le rôle actif joué par d'autres Cryptogames dans l'appauvrissement de la végétation lichénique : Champignons saprophytes se développant sur thalles morts ou fortement altérés, Champignons parasites s'attaquant aux thalles affaiblis.

Il est à remarquer que le développement massif des moisissures observé au cours de l'hiver 1975-76 sur la végétaion lichénique atteinte au voisinage du périmètre industriel n'a pas bénéficié de conditions particulièrement humides ou favorisantes mais s'est effectué au cours d'une période de relative sècheresse.

On note aussi une véritable explosion des attaques parasitaires : fréquent envahissement des thalles par *Illosporium roseum*, grande extension de l' « altération noire » chez *Xanthoria parietina*, présence de différentes espèces de *Torula* chez un très grand nombre de lichens accusant différentes formes de dépérissement ; souvent, présence de plusieurs parasites à la fois sur le même lichen.

Des phénomènes d'envahissement par des moisissures, d'attaques fungiques sur thalles morts ou affaiblis ne sont certes pas spécifiques des zones polluées, et sont observables sporadiquement dans la nature, mais sont alors sans ampleur : ils revêtent un caractère accidentel et concernant un nombre très restreint d'individus.

En revanche, ces attaques présentent ici un caractère massif ; elles se manifestent dans la zone des stations situées au voisinage du périmètre industriel où se développent les altérations chlorotiques ou lépreuses des thalles et jouent un rôle très important dans l'élimination des individus atteints.

Il semblerait donc que la zone de Fos présente un exemple intéressant d'interaction entre des polluants atmosphériques et des Champignons parasites. Quelques exemples de ces interactions ont déjà été signalés, mais ils se rapprotent, jusqu'à présent, uniquement aux végétaux supérieurs. HEAGLE (1973) relate plusieurs observations et fournit une bibliographie sur le sujet. La plupart concerne une inhibition de l'effet pathogène du champignon sous l'effet de la pollution souffrée. Quelques exemples toutefois montrent un accroissement des dégâts de parasitisme dans les cas où le végétal hôte est apparemment plus sensible au polluant que le champignon parasite (*Armillaria mellea*, certains autres champignons de la pourriture du bois, dégâts occasionnés par *Rhizosphaera kalkhoffi* habituellement non pathogène). Nos observations fourniraient ainsi parmi les lichens un exemple de parasitisme consécutif à un affaiblissement par la pollution atmosphérique.

d) Altération pulvérulente

Plusieurs *Physcia* (*P. luganensis*, *P hirsuta*, *P. orbicularis*, *P. elaeina*), ainsi que *Schismatomma decolorans*, lichens tous sorédiés, semblent réagir par une morphose particulière, l'envahissement par des formations soraliformes verdâtres, suivie d'une érosion pulvérulente du thalle, phénomènes particulièrement visibles chez *P. luganensis*.

Ce type d'altération nous semble tout à fait à rapprocher de celui signalé par LEBLANC et DE SLOOVER (1970) chez d'autres espèces de *Physcia* : *P. millegrana*, *P. orbicularis*, ainsi que chez *Candelaria concolor*, dont les thalles présentent de larges surfaces sorédiées jusqu'à devenir entièrement pulvérulents en zones polluées. DE SLOOVER et LEBLANC (1970), dans la région de Montréal, observent de même une augmentation de la production de sorédies chez *Physcia grisea*, *Physcia orbicularis*, *Parmelia subaurifera* et *Candelaria concolor*. Dans les sites pollués, le thalle peut se résoudre en petits amas diffus et pulvérulents ; il devient méconnaissable puis s'efface enfin complètement, surtout chez *Candelaria concolor* et *Physcia orbicularis*.

D'après FENTON (1964), dans la région de Belfast, *Lecanora conizaeoides* se réduit également à une masse sorédieuse stérile en zone polluée.

Ces faits d'observation sont l'objet d'interprétations controversées.

DE SLOOVER et LEBLANC (1970), citant notamment DU RIETZ (1924) et ALMBORN (1952) font ressortir le balancement entre la reproduction végétative et la reproduction par ascospores et émettent l'hypothèse d'une relation passive entre la pollution et la production sorédiale : la pollution provoquerait une inhibition de la fertilité qui, à son tour, exalterait le processus de reproduction végétative que représente la formation des sorédies.

La littérature rapporte toutefois des observations apparemment contradictoires : notamment, LEBLANC et RAO (1973), utilisant la méthode des transplants de BRODO (1961), remarquent l'absence de production de sorédies chez *Parmelia sulcata* placé en zone polluée. La production sorédiale est d'autant plus abondante que le transplant est mis dans une zone plus pure. Cette observation corrobore d'ailleurs celle de MARGOT (1971) qui constate la grande sensibilité du constituant algal des sorédies à la pollution.

De même, LEBLANC, COMEAU et RAO (1971) notent que la pollution fluorée dans la région d'Arvida empêche la production des sorédies.

LEBLANC et RAO (1973) concluent donc que la formation des sorédies requiert une atmosphère pure.

En fait, comme le soupçonnent LEBLANC, RAO et COMEAU (1971), il est douteux que les formations pulvérulentes qui se développent sur les thalles en zone polluées correspondent à de véritables soralies et que celles-ci fournissent des sorédies viables. Remarquons en effet qu'elles se développent en des régions du thalle où il est anormal de les rencontrer : dans le cas de notre observation sur *Physcia luganensis* dont les soralies sont marginales et labriformes, nous voyons ces formations envahir même la partie centrale. Elles prennent

également une extension bien singulière, jusqu'à désorganiser complètement le thalle et le réduire entièrement en un amas pulvérulent : le phénomène ne s'arrête d'ailleurs pas là, cet amas devenant de plus en plus diffus pour disparaître enfin totalement

Cette altération pulvérulente, à laquelle paraît s'identifier également la description de FENTON (1964) concernant *Lecanora conizaeoides* et vraisemblablement aussi les observations de LEBLANC et DE SLOOVER (1970), relèverait non pas du processus de formation des sorédies mais pourait correspondre plutôt, nous semble-t-il, à la transformation du thalle lichénique en une lèpre, comme il s'en développe dans la nature sous l'influence de facteurs défavorables à la symbiose lichénique, tels le défaut d'éclairement, un surcroît d'humidité, ou une mauvaise exposition.

e) Désorganisation lépreuse

La désorganisation lépreuse qui précède ou accompagne l'envahissement de certains lichens crustacés ou foliacés par *Pleurococcus* doit aussi comprendre les désorganisations observées chez *Physcia luganensis* et relever d'un même processus, mais ici sans apparition de formations pulvérulentes

L'existence de formations pulvérulentes accompagnant la perte de la structure du thalle s'observe chez des espèces capables de produire des sorédies, telles que *Physcia luganensis, Schismatomma decolorans* ou *Physcia adscendens.*

La forme de résolution du thalle en glomérules « sorédiaux » semblerait donc traduire ce qu'il reste de la compétence du champignon du lichen à organiser ou non des sorédies avec son algue associée et relèverait donc d'un phénomène « morphogénétique » : chez certaines espèces (*Schismatomma decolorans*), cette compétence serait ordinairement répendue dans la médulle de l'ensemble du thalle ; chez *Physcia luganensis*, elle serait potentiellement répandue dans l'ensemble de la médulle mais ne se manifesterait habituellement qu'en certains points du thalle ; chez des espèces comme *Physcia adscendens*, la potentialité n'existerait qu'en des sites bien définis, sur les lobes ascendants ; d'autres enfin (*Lecanora chlarotera, Schismatomma picconianum*), ne la possèdent pas.

Chez les différentes formes de cette altération lépreuse, la désorganisation de la structure du thalle ne semble pas avoir pour origine une atteinte de l'algue symbiotique.

Deux hypothèses - qui en fait se rejoignent - semblent pouvoir être émises quant au processus responsable :

- il existerait des cas de dépérissement de lichens où la sensibilité du partenaire fungique de la symbiose puisse être mise en cause, comme en témoigneraient les altérations de la structure du cortex, la dispersion anormale de l'algue dans la médulle et éventuellement la production anarchique de sorédies plus ou moins imparfaites. Le champignon deviendrait finalement incapable de maintenir la structure de l'édifice lichénique tout entier, dont il impose habituellement la morphologie.

- ou bien, ce qui est finalement une proposition assez voisine, ce serait l'équilibre symbiotique lui même qui serait atteint.

Dans la majorité des cas, l'association résiduelle d'algue et de champignon est instable et ne résiste pas à la concurrence de *Pleuroccocus*. On observe toutefois, sur troncs et branches, l'abondance de certaines lèpres (*Lepraria latebrarum*) qui semblent correspondre à des individus de *Parmelia caperata* mal lichénisés, mais qui se maintiennent en cet état. Alors que les lèpres ou altérations lépreuses précédemment observées ne se rencontrent pas dans la zone témoin, celle-ci y est présente. Aussi l'état lépreux de cette espèce n'est-il par forcément attribuable à la pollution, certains autres facteurs du milieu pouvant en rendre compte (défaut d'éclairement, humidité). La relative abondance de *Lepraria latebrarum* pourrait signifier une résistance plus grande de cette forme lichénique imparfaite.

f) Envahissement par Pleurococcus

Nous constatons que l'algue verte *Pleurococcus sp.*, comme l'ont également observé différents auteurs (échelles biologiques d'estimation de la pollution atmosphérique et travaux de cartographie de la distribution des épiphytes en zones polluées), apparaît relativement toxitolérante. Celle-ci colonise les espaces laissés vides par la disparition des thalles détruits. Sa tendance envahissante se manifeste même sur des thalles encore vivants en cours de dépérissement : les thalles parasités de *Xanthoria parietina* se laissent fréquemment recouvir par *Pleurococcus* ; l' « altération verte » des thalles plus ou moins désorganisés par l'altération lépreuse correspond à l'envahissement par *Pleurococcus.*

Cette prolifération traduit la luxuriance que conserve l'algue verte alors que la végétation lichénique régresse.

L'attribution indubitable à la pollution atmosphérique de l'envahissement des tahlles par *Pleurococcus* doit être évidemment tempérée d'une certaine prudence : on pourrait arguer qu'il est difficile de déterminer si cette algue colonise un thalle initialement affaibli, ou si, au contraire, les altérations sont consécutives à son établissement.

En fait, les lichens qui se laissent recouvrir par *Pleurococcus* présentent des altérations visibles sur leur cortex, ont souvent un aspect spongieux, et présentent une érosion superficielle même en des points non colonisés par l'algue étrangère. Il est certain également que l'encroûtement par *Pleurococcus* ne fait que favoriser la désorganisation qui se manifeste chez les thalles qu'elle recouvre, mais le processus peut avoir lieu sans son intervention.

Il faut noter aussi qu'habituellement dans la nature, un lichen sain, convenablement exposé, ne se laisse pas recouvrir par *Pleurococcus.* Le phénomène peut cependant s'observer en l'absence de toute pollution, en des stations ou des expositions ombragées et humides, chez des espèces supportant mal ces conditions notamment *Physcia biziana* et *Xanthoria parietina.*

Il semblerait donc qu'un affaiblissement par des conditions défavorables, quelles qu'en soient la nature, puisse produire ce même renversement de la concurrence pour l'occupation du support entre la végétation lichénique et le *Pleurococcus.*

V - DISCUSSION - CONCLUSION

A - Relative sensibilité de la végétation lichénique corticole

La végétation lichénique des différents supports rencontrés dans la région de Fos-sur-Mer (corticole, saxicole calcifuge et calcicole, terricole) se trouve depuis une date relativement récente (1973-1974) soumise à une pollution industrielle où domine le dioxyde de soufre.

Alors que les altérations s'observent sur la végétation lichénique corticole, les espèces terricoles, saxicoles calcifuges des galets et saxicoles calcicoles des supports artificiels n'accusent aucun dégât.

Le support joue un rôle important, d'abord en hébergeant des cortèges spécifiques différents.

Ainsi que l'on fait remarquer de nombreux auteurs, les associations saxicoles ou terricoles se montrent relativement plus toxitolérantes ; les lichens épiphytes apparaissent les plus sensibles à la pollution atmosphérique.

Le support peut aussi intervenir sur le comportement des lichens vis à vis de la pollution, notamment par ses propriétés chimiques, son pH, son pouvoir tampon, sa capacité de rétention en eau (Brightman 1959, Pisut 1962, Gilbert 1965, 1970, 1973, 1975, Hawksworth et Rose 1970, Leblanc et Rao 1973, Delzenne 1973 et beaucoup d'autres auteurs).

La toxisensibilité la plus grande s'observe sur les écorces pauvres et acides. La toxitolérance la plus forte est notée chez les espèces saxicoles vivant sur amiante, silicate magnésien à propriétés basiques, ainsi que chez les espèces calcicoles croissant sur ciment et roches calcaires qui ont un pouvoir d'absorption élevé vis à vis du dioxyde de soufre (Rydzack 1953, Taillys 1964, Braun et Wilson 1970, Hawkswsorth et Rose 1970, Gilbert 1970, 1973, Leblanc et Rao 1973).

B. Rôle de l'abri sur la végétation lichénique

1. *Protection par le sol et la végétation*

L'abri joue un rôle important en modifiant le niveau de pollution et peut intervenir dans la survie des lichens. En effet, les parties exposées du tronc sont les plus atteintes : la base des troncs d'arbre, souvent protégée par les herbes et les arbustes du sous-bois, porte la végétation lichénique la plus riche et les thalles les moins endommagés. Ce fait montre la nécessité d'effectuer des relevés qui tiennent compte du niveau par rapport au sol dans la notation des altérations.

La survie meilleure des lichens ou leur apparition graduelle au pied des arbres, ainsi que la colonisation ascendante des troncs par les épiphytes au fur et à mesure de l'éloignement des centres industriels ou urbains, sont des phénomènes de nombreuses fois mentionnés dans la littérature (Brodo 1966, 1972, Rao et leblanc 1967, 1969, Gilbert 1968 1970, 1974, Pyatt 1970, Hawksworth et Rose 1970, etc...).

Gilbert (1968) trouve des valeurs beaucoup plus faibles de la teneur de l'air en dioxyde de soufre sous le couvert des frondaisons. Gilbert (1970) remarque l'importance de la couverture végétale dans la survie d'espèces sensibles et montre la diminution du taux de pollution atmosphérique au niveau d'une simple pelouse rase ainsi que les différences importantes de la teneur de l'air en dioxyde de soufre au niveau du sol ou à 2 mètres au dessus de celui-ci. De même, Geiger (1965) montre que la pollution au niveau du sol est beaucoup plus faible.

Il est possible, dans le cas étudié ici, que la végétation herbacée de l'association à Asphodèle fistuleux, ou arbustive de la garrigue, exerce un certain effet de rugosité sur l'écoulement des polluants au sol ou en absorbe une partie. On ne peut toutefois lui imputer qu'un rôle assez faible dans le maintien des lichens saxicoles ou terricoles : un abri trop dense crée plutôt pour ces espèces des conditions microclimatiques néfastes, si bien que leur protection éventuelle par la strate supérieure reste toujours très faible ; nous observons d'ailleurs la même résistance des lichens terricoles et saxicoles en milieu dégagé. Outre la moindre sensibilité de ces espèces et le rôle protecteur du support, on peut également avancer l'hypothèse d'une absence de stagnation des polluants au sol (pour des raisons climatiques).

Le sol lui-même joue un rôle épurateur vraisemblablement très important, comme le laissent envisager certaines observations et expériences de de Cormis (1968).

2. *Protection par la neige*

Il est à souligner que la relative toxitolérance des associations terricoles et saxicoles, la sensibilité particulière de la végétation lichénique corticole à la pollution atmosphérique sur les parties exposées du tronc et sa survie au pied des arbres, observations jusqu'à présent toutes effectuées en des zones plus septentrionales, se vérifient également dans la région de Fos-sur-Mer.

Or, en cette région, la neige est exceptionnelle et ne recouvre que très rarement la totalité du sol pendant plusieurs journées : on ne peut invoquer ici la présence d'un manteau de neige hivernal protégeant les thalles et dont seraient privés les épiphytes du tronc à la période de l'année où la pollution est la plus forte et les lichens physiologiquement actifs.

Cette protection par la neige, qui peut certes jouer en des régions septentrionales (Leblanc 1961, Margot 1965, Leblanc et Rao 1966, Leblanc 1971), ne semble toutefois pas être déterminante du phénomène observé, à côté de facteurs liés au microclimat du sol, aux propriétés du support ou aux lichens eux-mêmes.

C. Appauvrissement qualitatif et quantitatif de la végétation lichénique corticole.

De nombreux auteurs ont observé, en zones périurbaines ou périindustrielles, un appauvrissement qualitatif et quantitatif de la végétation lichénique corticole, se traduisant par une réduction des divers paramètres phytosociologiques :

diminution de la luxuriance et de la vitalité, du degré de couverture (thalles moins nombreux, rabougris et plus compacts), réduction de la fréquence, de l'abondance, de la diversité... (LEBLANC 1961, TRASS 1968, DE SLOOVER et LEBLANC 1968, 1970, LEBLANC et DE SLOOVER 1970, GILBERT 1970, HAWKSWORTH et ROSE 1970, LEBLANC 1971, LEBLANC et RAO COMMEAU 1972, GILBERT 1973, JOHNSEN et SOCHTING 1973, LEBLANC, ROBITAILLE et RAO 1974...).

Malgré les atteintes constatées, la végétation lichénique corticole du chêne vert dans la zone de Fos présente un cortège encore relativement varié alors que le complexe industriel a commencé à fonctionner depuis déjà plus d'une année. Les dégâts relatés ici constituent en fait les premières manifestations de dépérissement consécutives à la mise en service des industries.

1. *Appauvrissement qualitatif*

Seules les formes fruticuleuses et foliacées, les plus exigentes quant à la qualité de l'air, manifestent des dégâts nombreux et sérieux ; parmi celles-ci, les plus touchées et les premières à réagir sont *Usnea laricina* et *Parmelia subaurifera.*

L'appauvrissement qualitatif ne s'est encore pratiquement pas manifesté, si ce n'est par la disparition de *Parmelia subaurifera* des parties exposées des troncs de Chêne vert aux stations de « La Feuillane », du « Chêne Vert » et de « La Fenouillère », les plus proches des sources de pollutions.

2. *Appauvrissement quantitatif*

En revanche, la disparition de nombreux thalles, surtout foliacés, a entrainé un net appauvrissement quantitatif : il semblerait que les premières atteintes de la végétation lichénique soient quantitatives sur un large spectre d'espèces et affectent le « degré d'épiphytisme ». Celui-ci est beaucoup plus faible que dans la zone témoin ; il est de même plus faible au voisinage des usines que dans les zones plus externes : alors que dans la zone de référence ou en périphérie du peuplement atteint, les thalles dépérissants ne se rencontrent qu'exceptionnellement, ils constituent la fraction la plus importante du peuplement des stations les plus touchées.

Soulignons cependant que l'on continue à rencontrer certains thalles qui ont curieusement conservé un aspect intact : les altérations n'atteignent pas de façon homogène tous les individus d'une même espèce. Les thalles peuvent présenter des états de détérioration très divers ; on trouve dans une même station et parfois au voisinage l'un de l'autre sur le même tronc, des thalles morts ou presque complètement détruits et d'autres apparemment tout à fait sains et de couleur normale ; cette observation est fréquente chez *Parmilea caperata, Parmelia subreducta,* et *Parmelia sulcata* ; les dégâts semblent frapper les individus au hasard ; les différences traduisent peut-être des réactions individuelles des thalles à un même niveau de pollution. De CORMIS (communication orale) signale également de telles hétérogénéités dans l'apparition de lésions chez les végétaux supérieurs soumis à la pollution atmosphérique.

3. *Valeur indicatrice*

Quant à l'étude qualitative des altérations, visant à leur reconnaître une valeur indicatrice qui permette de caractériser éventuellement un type ou un niveau de pollution, il s'agit d'un domaine où l'expérimentation est difficile, et qui reste encore largement à explorer, de sorte qu'actuellement, on en est réduit presque exclusivement à des observations de terrain. Or celles-ci révèlent que beaucoup d'altérations subies par les lichens ne semblent pas qualitativement spécifiques de la pollution.

Cependant, si ces détériorations peuvent se rencontrer dans la nature, elles ne le sont que sporadiquement, sur des individus isolés : il s'agit alors de dommages accidentels, relevant de causes diverses (substrat devenu trop sec, trop humide ou trop ombragé, brûlures par des sels ammoniacaux et l'acide urique des excréments d'oiseaux, etc...). En revanche, le caractère frappant à noter ici concerne la fréquence considérable des phénomènes de dépérissement.

C'est d'une part la comparaison avec la zone de référence, d'autre part l'accumulation de données sur une région suffisamment étendue où l'on distingue une zonation des dégâts et surtout l'existence de taches de dépérissement caractérisé par l'altération d'un très grand nombre de lichens, qui constituent un ensemble d'observations propres à attribuer ce dépérissement à la pollution atmosphérique.

D. Installation d'un état d'équilibre :

1. *Durée* :

L'installation d'un équilibre entre la végétation lichénique et la pollution atmosphérique semble requérir un temps assez long. Il est même possible que la relative sècheresse du climat méditerranéen, rallongeant les périodes d'inactivité physiologique des lichens, favorise leur survie.

Des observations échelonnées concernant le temps nécessaire à l'établissement d'un état d'équilibre entre la végétation naturelle et le facteur pollution atmosphérique ne sont pas signalées dans la littérature, aussi les avis diffèrent-ils beaucoup sur l'estimation de cette durée (GILBERT 1970, BRODO 1972).

Les expériences de transplantation de thalles en sites pollués montrent que le dépérissement et la mort des lichens requièrent généralement, en ces conditions, de quelques mois pour la plupart, à une année (BRODO 1961, GILBERT 1968, LEBLANC 1969, SCHOENBECK 1969).

Or ces expériences sont pratiquées sur de grands lichens foliacés. De plus, la transplantation est souvent, par elle-même, assez néfaste pour le lichen : celui-ci doit s'adapter à son nouvel emplacement et se comporte moins bien qu'un lichen implanté depuis son origine. Aussi est-il vraisemblable que le temps nécessaire au dépérissement de lichens *in situ* soit plus long. Et si l'on considère l'établissement d'un équilibre entre la végétation lichénique globale et la pollution atmosphérique, la durée requise sera *a fortiori* vraisemblablement bien supérieure à celle suggérée par la survie de

transplants. Elle pourrait être de l'ordre de quelques années, comme le note GILBERT (1970) dans une remarque sur l'utilisation de son échelle biologique pour l'estimation de la pollution de l'air par le dioxyde de soufre : « il faut se souvenir que cette échelle n'est pas applicable à l'évaluation des niveaux de pollution autour de zones nouvellement industrialisées ou urbanisées car il faut quelques années à la flore lichénobryophytique pour établir son équilibre avec la pollution ».

Les atteintes que nous constatons actuellement sur le site de Fos constituent vraisemblablement les premières étapes de la transformation de la végétation lichénique sous l'influence de la pollution atmosphérique. Bien que les niveaux de pollution enregistrés soient relativement peu élevés (de l'ordre de grandeur de ceux d'une banlieue urbaine), les modifications de la végétation lichénique sont appelées à se poursuivre : l'état d'équilivre n'est pas encore atteint, comme en témoigne l'existence d'une fraction du peuplement en cours d'élimination.

2. *Modalités* :

Le dépérissement de la végétation lichénique qui se manifeste principalement parmi le peuplement des lichens foliacés semble s'accompagner de véritables phénomènes de succession, parfois très rapides à partir de la manifestation des premières atteintes. Chez les grands lichens foliacés surtout, mais également des petits lichens foliacés ou crustacés, la séquence est la suivante :

apparition de chloroses du thalle, implantation d'*Illosporium roseum* et (ou) d'autres Champignons parasites ; exploitation des thalles morts par des Champignons saprophytes, colonisation de la place par *Pleuroccoccus*.

Chez certains petits lichens foliacés ou crustacés, on observe également la succession :

désorganisation lépreuse ; parasitisme, essentiellement par *Torula* ; recouvrement par *Pleurococcus* qui subsiste seul.

La pollution atmosphérique joue à la manière d'un facteur nouveau introduit dans le milieu. L'intensité avec laquelle se manifeste ce facteur supplémentaire en fait un facteur limitant supporté par un petit nombre d'espèces, dont les plus tolérantes, telles *Pleurococcus sp.*, peuvent se multiplier jusqu'à être envahissantes. Ce facteur nouveau modifie le « poids » relatif des différentes composantes de l'équilibre antérieur et fait dès lors partie intégrante d'un nouvel équilibre dynamique ; les composantes biotiques du milieu notamment semblent affectées dans leurs relations réciproques.

Le facteur pollution aurait ainsi sur la végétation lichénique une incidence directe provoquant diverses altérations et des actions indirectes qui modifient l'équilibre des concurrences biotiques auxquelles sont soumis ces végétaux inférieurs (relations avec l'algue verte environnante, sensibilité au parasitisme par des champignons lichénicoles).

Le déséquilibre engendré serait à l'origine des phénomènes de succession régressive observés sur la flore des écorces.

REMERCIEMENTS

Je suis heureux d'adresser mes plus vifs remerciements à M. le Professeur G. CLAUZADE et à M. ROUX, C.N.R.S., pour l'aide précieuse qu'ils m'ont apportée dans l'accomplissement de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

ALMBORN O., 1952. — A key to the sterile corticolous crustaceous Lichens occuring in south Sweden. *Bot. Not.* 3, 239-263.

AUREAU F., BEDENEAU M., 1974. — Essai de cartographie de la pollution à l'aide des épiphytes. *Rev. Forest. Fr.* 26 (5), 353-360.

BRAUN R.-C., WILSON, M.-J.-C., 1970. — The removal of atmospheric sulpuhr dioxide by building stones. *Atm. Environnment* 4, 371-378.

BRODO I.-M., 1961. — Transplant experiments with corticolous Lichens using a new technique. *Ecology* 42, 838-841.

BRODO I.-M., 1965. — Studies of growth rates of corticolous Lichens on Long Island, New York. *The Bryologist* 68 (4), 451-456.

BRODO I.M., 1966. — Lichens growth and cities : a study on Long Island, New York. *The Bryologist* 69 : 4127-449.

BRODO I.-M., 1972. — Lichens and cities. *In* : International symposium on identification and measurement of environmental pollutants, B. WESTLEY ed., *Nat. Res. Council*, Ottawa. 325-328.

CLAUZADE G., ROUX C., 1976. — *Les Champignons lichénicoles non lichénisés.* Laboratoire de systématique et de Géobotanique méditerranéenne de l'Institut Botanique de Montpellier. 110 pp.

COMEAU G., LEBLANC F., 1972. — Influence du fluor sur le *Funaria hygrometrica* et *l'Hypogymnia physodes. Can. J. Bot.* 50 (4), 847-856.

DE CORMIS L., 1968. — Contribution à l'étude de l'absorption du soufre par les plantes soumises à une atmosphère contenant du dioxyde de soufre. *Ann. Physiol. vég.* 10 (2), 99-112. (v. p. 102).

DELZENNE-VAN HALUWYN C., 1973. — Contribution à l'étude de la distribution des Lichens épithytes dans le Nord de la France. Application au problème de la pollution atmosphérique. Thèse Doctorat d'État en Pharmacie, Univ. de Lille II, U.E.R. Pharmacie, 162 pp.

DE PUYMALY A., 1965. — Les isidies des Lichens : leur nature et leur rôle. *Le Botaniste* 48 (1-4) 235-247.

DE SLOOVER J.-R., 1964. — Végétaux épiphytes et pollution de l'air. *Rev. Quest. Sci.* 25 (4), 531-561.

DE SLOOVER J.-R., LAMBINON J., 1965. — Contribution à l'étude des Lichens corticoles du bassin de la Dendre. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 98 (2), 229-273.

DE SLOOVER J.-R., LEBLANC F., 1968. — Mapping of atmospheric pollution on the basis of Lichen sensitivity. *In* : *Proc. Symp. Recent Adv. Trop. Ecol.*, Varanasi, India. R. Misra et B. Gopal ed., 42-56.

DE SLOOVER J.-R., LEBLANC F., 1970. — Pollutions atmosphériques et fertilité chez les Mousses et les Lichens épiphytiques. *Bull. Acad. et Soc. Lorraines des Sci.* 9 (1), 82-90.

DURIETZ E., 1924. — Die Soredien und Isidien der Flechten. *Sven. Bot. Tidskr.* 18, 371-396.

GEHU J.-M., BON M., DELZENNE C., ROSE F., 1973. Lichénologie Appliquée - Essai de cartographie de la pollution atmosphérique acide dans le Nord de la France en relation avec la toxisensibilité des Lichens épiphytes. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 276, Ser. D., 729-732.

GILBERT O.-L., 1968. — Bryophytes as indicators of air pollution in the Tyne Valley. *New Phytol.* 67, 15-30.

GILBERT O.-L., 1970. — A biological scale for the estimation of sulphur dioxide pollution. *New Phytol.* 69, 629-634.

GILBERT O.-L., 1970. — Further studies on the effect of sulphur dioxide on Lichens and Bryophytes. *New Phytol.* 69, 605-627.

GILBERT O.-L., 1974. — An air pollution survey by school children. *Environ. Pollut.* 6 Applied Science Publishers Ltd., England, 175-180.

HAWKSWORTH D.-L., 1974. — Literature on air pollution and Lichens. I. *Lichenologist* 6, 122-125.

HAWKSWORTH D.-L., 1975. — Literature on air pollution and Lichens. II. *Lichenologist* 7, 62-66 III. *Lichenologist* 7, 173-177.

HAWKSWORTH D.-L., ROSE F., 1970. — Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, London. 227, (5254), 145-148.

HILL D.-J., 1971. — Experimental study of the effect of sulphite on Lichens with reference to atmospheric pollution. *New Phytol.* 70, 831-836.

JOHNSEN I., SOCHTING U., 1973. — Influence of air pollution on the epiphytic Lichen vegetation and bark properties of deciduous trees in the Copenhagen area. *Oikos* 24 (3), 344-351.

KLEMENT O., 1955. — Prodromus der Mitteleuropaischen Flechtengesellschaften *Sonderdruck aus Feddes Repertorium, XI, Species novarum regni vegetabilis*, Beiheft 135. Beitrage zur Vegetationskunde. 194 pp.

LAUNDON J.-R., 1970. — London's Lichens. London. *Natur.* 49 : 20-69.

LEBLANC F., 1961. — Influence de l'atmosphère polluée des grandes agglomérations urbaines sur les épiphytes corticoles. *Rev. Canad. Biol.* 20 (4), 823-827.

LEBLANC F., 1969. — Epiphytes and air pollution.- *Air pollution Proceedings Ist European Congress on the influence of air pollution on plants and animals.* Wageningen 1968, 211-221.

LEBLANC F., 1971. — Possibilities and methods for mapping air pollution on the basis of Lichen sensitivity. *Mitt. d. Forstl. Bundes-Vers. Anstalt* 92, 103-126.

LEBLANC F., COMEAU G., RAO D.-N., 1971. — Fluoride injury symptoms in epiphytic Lichens and Mosses. *Canad. Journ. Bot.* 49 1691-1698.

LEBLANC F., DE SLOOVER J., 1970. — Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic Lichens and Mosses in Montreal. *Can. Journ. Bot.* 48 (7), 1485-1496.

LEBLANC F., RAO D.-N., 1966. — Réaction de quelques lichens et mousses épiphytiques à l'anhydride sulfureux dans la région de Sudbury, Ontario. *The Bryologist* 68 (3), 338-346.

LEBLANC F., RAO D.-N., 1972. — The epiphytic vegetation of *Populus balsamifera* and its significance as an air pollution indicator in Sudbury Ontario. *Can. Jour. Bot.* 50, 519-528.

LEBLANC F., RAO D.-N., 1973. — Effects of sulphur dioxide on Lichens and Moss transplants. *Ecology* 54 (3), 612-617.

LEBLANC F., RAO D.-N., 1973. — Evaluation of the pollution and drought hypothesis in relation to Lichens and Bryophytes in urban environments. *The Bryologist* 66 (1), 1-19.

LEBLANC F., RAO D.-N., COMEAU G., 1972. — Indices of atmospheric purity and fluoride pollution pattern in Arvida, Quebec. *Can. Journ. Bot.* 50 (5), 991-998.

LEROND M., 1975. — Etude des Lichens dans le parc naturel régional de Brotonne (Intérêt pratique pour la mise en évidence de zones de pollution atmosphérique). D.E.S. Biologie Végétale. U.E.R. Sciences Nat. Université de Rouen, 185 pp.

MARGOT J., 1965. — Evolution de la végétation épiphytique du Peuplier en relation avec l'âge et les modifications de l'écorce. *Mem. Acad. Roy. Belg.* Classe Sci. 34 (7), 84 pp.

MARGOT J., 1972. — Lichens et pollutions atmosphériques. L'effet du SO_2 sur les sorédies d'*Hypogymnia physodes*. (L.) Nyl. Thèse Doctorat. Univ. de Louvain, 240 pp.

NASH III T.-H., 1971. — Lichen sensitivity to hydrogen fluoride. *Bull. Torrey Bot. Club* 98, 103-106.

OZENDA P., CLAUZADE G., 1970. — *Les Lichens. Etude biologique et flore illustrée.* Masson ed., Paris. 801 pp.

ROUX C., 1967. — Etude de la végétation lichénobryophytique des principales associations phanérogamiques de la région de Villeneuve-les-Avignon (Gard). D.E.S. Fac. Sci. Marseille, 152 pp.

SAUNDERS P.-J.-W., 1970. — Air pollution in relation to Lichens and Fungi. *Lichenologist* 4, 337-349.

SKYE E., 1958. — The influence of air pollution on the fruticolous and foliaceous Lichen flora around the shale-oil works at Kvarntorp in the province of Närke. *Svensk. Bot. Tidskr.* 52, 131-177.