Bulletin de la Murithienne 96 (1979): 23-41

EFFETS DU FLUOR SUR LA VEGETATION LICHENIQUE CORTICOLE AUTOUR DE LA REGION DE MARTIGNY (VS) [1]

par Philippe Clerc [2] et Pierre-Daniel Roh [3]

BUTS

Ce travail est destiné à mettre en évidence les effets de la pollution par le fluor sur la flore épiphytique et plus particulièrement sur les lichens, dans le coude de la vallée du Rhône.

Nous avons donc commencé notre étude en mettant en évidence l'accumulation du fluor dans les thalles d'une espèce présente dans toute la vallée du Rhône puis nous avons utilisé la méthode des *transplants.* Nous avons ensuite recensé la flore épiphytique et, finalement, dosé un pigment: la parietine.

Dans le présent exposé, seuls le dosage du fluor et le recensement de la flore épiphytique sont retenus.

INTRODUCTION

Les lichens, ces végétaux particuliers parce qu'issus de la symbiose d'un champignon et d'une algue, montrent en effet, pour la plupart, un haut degré de sensibilité à la présence dans l'atmosphère de composés toxiques tels le SO_2, les métaux lourds, le fluor, etc. Ce sont les lichens épiphytiques corticoles, c'est-à-dire vivant sur le tronc ou les branches des arbres, qui sont les plus sensibles à l'égard des polluants atmosphériques.

---

[1] Travail de diplôme réalisé sous la direction du professeur G. Turian, directeur du Laboratoire de Microbiologie de l'Université de Genève, janvier 1979.

[2] 58, rue Ancienne, 1227 Carouge GE.

[3] 1912 Leytron VS.

Les bases de cette particularité, qu'elles soient morphologiques ou physiologiques, ne sont pas encore toutes connues. Cependant, les faits suivants sont à souligner (BARKMAN 1958, SMITH 1960):

— Les épiphytes sont par définition, sauf dans des cas particuliers de protection par le milieu environnant, fortement exposés aux conditions atmosphériques caractérisant leur environnement.

— Les lichens, surtout ceux à port fruticuleux, tirent principalement de l'atmosphère l'eau et les matières nutritives dont ils ont besoin. Ils possèdent à cet effet des mécanismes très efficaces pour accumuler les éléments nutritifs à partir de solutions très diluées, l'absorption, facilitée par l'absence d'une cuticule, se faisant à travers tout le thalle. C'est ainsi que les lichens possèdent une pression osmotique très élevée, favorisant la captation de la vapeur d'eau.

— Ils ne possèdent pas les mécanismes de défense des plantes supérieures, tels les stomates (contrôle des échanges gazeux) et la perte annuelle des feuilles (élimination des substances toxiques accumulées à ce niveau).

— Aucun mécanisme d'excrétion n'a encore été mis en évidence chez les lichens.

— Leur taux de croissance est très faible, il se chiffre à quelques mm par an. Leur durée de vie peut atteindre plusieurs dizaines d'années.

Ces quelques points illustrent assez bien la dépendance des lichens vis-à-vis des conditions atmosphériques tout en expliquant partiellement leur sensibilité à l'égard de la pollution atmosphérique.

LE FLUOR ET SA PRODUCTION

Les usines d'aluminium émettent des fluorures sous deux formes principales, gazeuses et particulaires. Le fluor gazeux est formé de deux composés principaux, le tétrafluorure de silice (SiF_4) et l'acide fluorhydrique (HF) qui se combinent facilement à la vapeur d'eau atmosphérique et sont ainsi rapidement absorbés par les plantes.

Le fluor particulaire est surtout formé de composés stables s'hydrolisant lentement d'où l'importance des conditions atmosphériques, une pluie fine pourrait déposer ces particules atmosphériques à la surface du végétal et lentement en solubiliser le fluor alors qu'une forte averse pourrait laver la surface du végétal des poussières s'y trouvant.

Les fluorures étant retirées rapidement de l'atmosphère, cela expliquerait le fait que la pollution par le fluor tende à avoir des effets localisés autour des sources d'émission.

L'usine de Martigny, dont l'exploitation est continue, a une production annuelle d'environ 10 000 tonnes. Ce qui représente qu'approximativement 160 à 200 tonnes de fluor sont émises annuellement dans l'atmosphère dont le 25 % environ sous forme gazeuse (ADENU, 1976). La production d'effluents gazeux ne se limite pas au fluor seulement, c'est encore 300 tonnes de SO_2, 2500 tonnes de CO, 15 000 tonnes de CO_2 et quelques milliers de tonnes de vapeurs de goudron qui sont émises annuellement dans l'atmosphère par l'usine de Martigny.

D'autre part, les usines de Chippis et de Steg sont à l'origine d'une pollution de fond dans la région étudiée.

CARACTERISTIQUES DU SITE

La région étudiée comprend le Bas-Valais, de Collombey à Martigny et une partie du Valais central, de Martigny à Sion; elle se limite à la plaine.

Aucune étude climatique particulière n'a été entreprise. Cependant, on peut remarquer que:

— les températures ont des moyennes élevées avec des amplitudes assez grandes,

— la pluviosité est faible (environ 600 mm) dans la région de Martigny à Sion,

— le régime des vents présente un système d'aller et retour à périodicité noctidiurne et annuelle.

De nombreuses études ont été entreprises sur la dispersion des effluents fluorés en Valais. Ces travaux ont été exécutés à deux niveaux. On a d'une part mesuré les concentrations fluorées dans l'atmosphère au moyen d'appareils de Harding et d'autre part caractérisé les effets nocifs du fluor sur les végétaux (DESBAUMES et BOVAY 1971, QUINCHE 1973).

Sur la base de ces travaux, on peut dire que la vallée du Rhône est soumise à un flux permanent de fluor dont les concentrations peuvent être élevées en cas de conditions météorologiques défavorables et d'autre part, que ce flux a une action nocive directe sur les végétaux de cette vallée.

Tableau :

	Lieux:	N	M	D	Z	L	K
I)	Les Marais	2	48	5	1	3	3,5
	Maraiche de la Croix (Poulaillers)	2	54	11	1	3	3,2
	Chez les Lugons (107/570, 5)	2	93	5	2	4	2,4
	Chez les Lugons (106, 5/571)	3	256	248	2	1,5	2
	La Zouilla (107, 3/570, 6)	2	107	35	1	1	2,5
	Maraiche de la Croix (107, 5/570, 4)	4	152	154	2	3	2,6
	Route cantonale (108/570)	4	191	73	2	3	3,3
	Route cantonale (108, 4/569, 8)	2	77	13	2	3	3,6
	Route cantonale (108, 5/569, 5)	4	94	25	1	3	3,8
	Chez les Lugons (106, 8/571, 2)	3	191	45	2	2,5	1,8
	Les Ciseaux (107, 5/570, 8)	2	138	8	2	1,5	1,5
	Ferme Saudan (107, 7/570, 5)	2	75	39	1	4	2,6
	Voie de Chemin de Fer (108, 5/570, 2)	4	165	130	2	2	3,4
	Vernayaz (Hôtel)	4	202	81	2	2	4,2
	Vernayaz (Terrain de football)	4	108	100	2	3,5	4
	Le Rosel	2	102	29	1	2,5	4
	Ferme des Iles	3	136	123	1	2	2,8
	Ferme Saudan (107, 9/570, 8)	3	138	71	2	3,5	2,3
	Les Ciseaux (107, 5/571, 3)	2	143	43	2	3	2
	Cretadon	2	131	34	1	3	2,7
	La Drance (107, 6/571, 3)	4	191	307	3	2,5	1,8
	La Drance (107, 2/571, 5)	3	206	223	2	1	1,5
	La Drance (106, 8/571, 5)	2	217	13	3	2,5	1,4
	La Drance (106, 5/571, 7)	2	155	29	2	2	1,3
	Le Courvieux	2	163	13	2	3,5	0,9
	Les Prises	4	97	55	1	4	1,1
	Les Chantons	2	152	23	1	3	1
	Ile à Bernard	11	222	597	3	4	1,7
II)	Martigny (106, 2/572, 8)	1	119	-	2	2	0,6
	Les Finettes (Canal)	4	191	86	2	3	0,4
	Route cantonale (106, 5/573, 5)	2	187	10	2	2,5	0,6
	Les Etangs	2	169	12	2	4	1,3
	Le Ranconnex	2	121	24	2	3	2,5
	Pont de Charrat (Gare)	4	152	81	2	4	3,5
	Charrat (Les Chênes)	2	63	15	1	4	2,9
	Pré des Chênes	2	124	10	3	3	2,8
	Les Audzis	4	113	175	1	4	2,3
	Les Durines	2	65	4	1	5	1,6
	Le Guercet	2	129	13	2	4	1
	Chez les Farquets	2	75	25	2	4	1
	Les Marafches (107/572, 5)	4	103	75	2	4	0,6
	Les Vorziers	2	159	36	1	1,5	0,9
	Les Maraiches (107, 3/572, 7)	2	144	16	1	2	0,6
	Bois Usine (Ouest)	4	161	143	2	2	0,2
	Bois Usine (Est)	2	203	61	3	3	0,4
	Route cantonale (Près de l'usine)	3	864	563	3	2,5	0,2

Lieux:	N	M	D	Z	L	K
Pont de Taillefer	1	93	-	1	2	2,1
Les Indévis	2	60	24	2	3	3,1
L'étray	2	133	27	1	2	3,8
Coloracle	4	144	109	1	2	4,6
Fully/Rhône (109/574,2)	2	157	16	3	3	2,5
Fully/Rhône (109/575)	2	120	17	1	2	3
Grand'Barres	2	104	21	1	4	6
Le Verney (Follatères)	2	198	41	2	3	1,4
III) La Batiaz (106,1/571,8)	2	123	36	2	3	1,4
Martigny-Ville (105,8/572,3)	2	69	27	2	4	1,2
Les Neuvilles	4	68	67	1	3	1,5
Martigny (Cimetière)	4	79	53	1	4	2,1
Martigny-Ville (105/571,3)	2	142	107	1	2	2,4
Pro de Mars	3	126	52	1	2	12
St-Laurent	2	92	18	1	2	10,5
Saillon-Le Pont	5	180	129	2	3	9,5
Les Vaques	4	160	144	1	2	9,3
Grands Glariers	4	113	46	2	4	8
Grand Blettay	2	94	12	1	2	7
Les Mûres	3	121	18	1	4	6,4
Les Iles	2	48	9	1	4	5,8
Riddes	4	121	70	2	3	11,4
Ecône	8	97	51	2	4	10,5
Saxon (Préau de l'école)	4	129	94	2	2	8,4
Gottefrey	2	96	35	2	2	7,5
La Vouya	3	83	31	3	3	5,4
Martigny-Bourg	2	111	102	1	2	2,9
La Croix	2	80	11	1	1	3,4
La Batiaz (105,7/571,3)	2	65	10	1	2	2
Grand Botset	4	88	79	2	3,5	4,5
Saillon (Les Virottes)	2	220	47	2	2	9,3
Martigny (Préau de l'école)	2	107	15	2	2,5	1,8
IV) Lavey les Bains	2	109	1	-	-	11,8
Evionnaz	2	52	12	1	4	9
St Pierre de Clages	2	150	35	3	4,5	14,8
Ardon (Gare)	2	241	47	3	2	17,4
Chateauneuf (Gravière)	2	103	61	-	-	20
Chateauneuf (Ecole d'agriculture)	2	124	6	2	5	21
Massongex	2	136	18	1	4	16,5
Fully (Tassonnière) (P. caperata)	2	91,5	2	-	-	-
La Balmaz	2	183	47	2	2	6,6

N: nombre d'échantillons analysés
M: concentration moyenne de fluor accumulé par les lichens (ppm)
D: écart entre le résultat le plus élevé et le plus bas (ppm)
Z: notes de nécroses des thalles (cf. texte)
L: coéfficient de luxuriance (cf. texte)
K: distance à l'usine (Km.)

Régions de prélèvement:

I): Vernayaz, Martigny
II): Martigny, Charrat
III): Drance, Saxon, Saillon, Riddes
IV): Points extrèmes

Tableau 1. Résultats des dosages du fluor contenu dans les thalles indigènes de *X. parietina*.

Afin de pouvoir effectuer cette analyse, il nous fallait trouver un indicateur qui réponde aux conditions suivantes (HOLUB 1973):

— la répartition devait être aussi grande et uniforme que possible dans la région étudiée,

— la capacité d'accumulation du fluor devait être assez forte, l'indicateur devant être assez résistant et physiologiquement actif.

Xanthoria parietina, espèce corticole, coniophile, très nitrophile et moyennement toxicotolérante, facilement reconnaissable à son thalle foliacé, jaune-orangé, pourvu de nombreuses fructifications, a été choisi parce qu'elle est l'espèce la plus répandue dans tout le Valais central. Cette espèce, par ces caractéristiques, répondait aux conditions posées.

Description de la méthode

Chaque lichen récolté était numéroté par une fiche sur laquelle les renseignements suivants furent notés: lieu, support, hauteur d'exposition, orientation par rapport à l'usine, description d'une éventuelle protection ou d'un abri contre les immissions de l'usine, luxuriance et aspect du thalle.

Nous récoltions de telle façon à avoir environ 0,3 à 0,5 gr de matière sèche par échantillon.

Après avoir été récoltés, ces échantillons furent analysés quant à leur contenu en fluor au moyen d'une électrode spécifique (électrode spécifique modèle Orion). Dans ce but, nous avons appliqué le procédé de FIORAVANTI (1970), qui consiste à calciner les tissus végétaux, puis à faire une fusion alcaline afin de libérer le fluor des fluorosilicates et de pouvoir doser les ions F^- en solution, avec l'électrode.

Résultats, discussion

Nous avons analysé 240 échantillons, répartis dans la région de Martigny à Riddes en 84 sites de prélèvement. La table 1 apporte les résultats complets de ces analyses.

Au début, deux échantillons par site ont été recueillis (un seul parfois, par manque de matériel). Par la suite, nous avons fait quelques vérifications dans les sites où l'écart dans l'accumulation du fluor des deux échantillons prélevés auparavant était trop important.

L'idéal aurait été de prélever tous ces échantillons en même temps et de les analyser tout de suite. Cependant, pour des raisons de temps (il faut en moyenne vingt minutes de travail effectif pour analyser un seul échantillon) et de matériel (électrode spécifique et ionomètre), nous avons dû partager la région en quatre zones de prélèvement que nous avons visitées en différentes périodes. En conséquence, les conditions environnementales pendant et avant les prélèvements, ne sont pas les mêmes pour les quatre secteurs. En effet, si l'on peut dire que les émissions de fluor sont presque constantes pendant toute l'année (l'usine fonctionne sans interruption), cela n'est pas le cas pour le régime des vents, l'humidité relative et les précipitations. Ces différents facteurs peuvent avoir une influence quant à l'accumulation du polluant par les lichens. Une forte averse pourrait, par exemple, réduire le contenu en fluor du thalle. En regardant les conditions pluviométriques avant et pendant les prélèvements nous nous sommes aperçu que les jours où nous avions fait des vérifications étaient plus secs par rapport à la période de prélèvement. Or les deux tiers des vérifications ont donné des valeurs plus basses que les mesures précédentes pour les mêmes sites. Ce qui laisserait supposer que les quelques millimètres de pluie qui sont tombés lors des premiers prélèvements auraient provoqué une augmentation de l'accumulation du fluor par les lichens. Cependant, si l'on prend l'exemple du site du Maraîche la Croix (107,5/570,5), les deux premiers prélèvements donnent 259 et 124 ppm, ce qui fait 192 ppm en moyenne, alors que les deux prélèvements de vérification donnent 105 et 117 ppm, en moyenne 111 ppm. La moyenne a donc baissé de 81 ppm lors de ces vérifications. On s'aperçoit toutefois que les deux valeurs, 105 et 117 ppm sont très proches de l'une des deux valeurs du premier prélèvement, 124 ppm. Il se peut donc très bien que les différences observées ne soient pas ou peu dues aux chutes de pluie, mais à l'accumulation différentielle du fluor de certains individus parmi une population, ainsi que GILBERT (1973) l'a également observé, et à de petites différences dans l'exposition des échantillons prélevés, vu que, parfois, nous avons dû nous contenter des thalles présentes sur l'arbre, sans pouvoir choisir leur exposition.

Quoiqu'il en soit, à partir des données de la table 1 et en tenant compte de la direction des vents, nous pouvons diviser la région étudiée en plusieurs secteurs de contamination. Bien entendu ces zones ne donnent qu'une idée approximative de la dispersion des effluents fluorés dans le coude de Martigny.

Vu le petit nombre de relevés et les remarques faites ci-dessus, on observe:

— une zone étroite (100 m) de forte pollution (> 250 ppm) qui s'étend en amont de l'usine jusqu'à environ 1,3 km de celle-ci dans le sens du vent d'aval dominant sur l'ensemble de l'année,

— une zone de pollution moyenne (150 à 250 ppm) qui se répartit tout autour de l'usine en amont de façon continue jusqu'à 3,5 km, la pollution diminuant plus loin pour augmenter à nouveau fortement dans

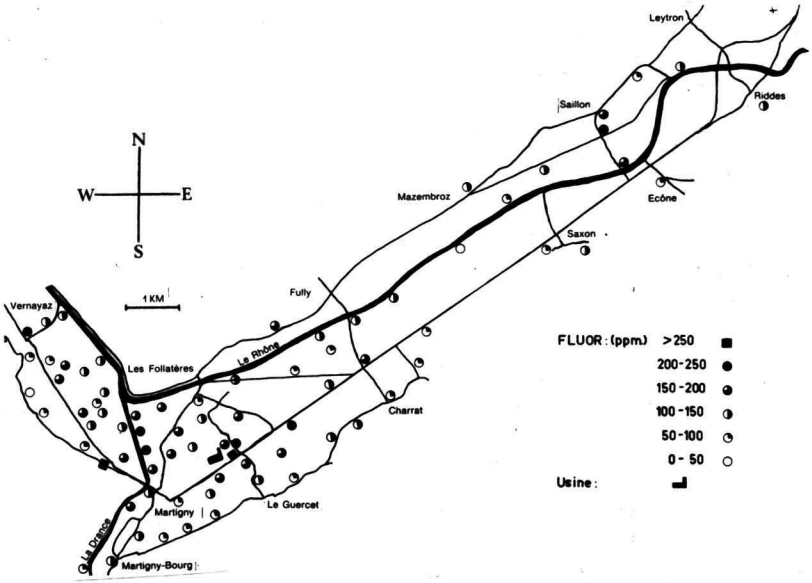

Fig. 1. Répartition des sites de prélèvement des échantillons et représentation schématique des coéfficients de nécroses attribués aux thalles indigènes de *X. parietina.*

la région de Saillon (9 km), atteignant à cet endroit des valeurs comparables à celles enregistrées à l'île à Bernard (1,6 km de l'usine). Ces résultats confirmés par d'autres travaux sont certainement dus au vent qui doit amorcer une courbe de descente sur Saillon provoquant ainsi une arrivée plus forte de masses d'air sur ce village. En aval de l'usine, jusqu'à 2 km en direction des Follatères, la zone de pollution moyenne se caractérise par une répartition compliquée illustrant probablement la complexité du régime des vents de par l'aspect tourbillonnant de ceux-ci dans le coude de la vallée du Rhône. On peut aussi remarquer que le centre de la ville de Martigny est soumis à une pollution relativement élevée.

— Une dernière zone de faible pollution (0 à 150 ppm) s'étend en amont jusqu'à Riddes et en aval jusqu'à Vernayaz. Tout près de l'usine cette zone apparaît à environ 600 m au Sud et au Nord en dehors de la direction dominante des vents, caractérisant ainsi l'aspect local de la pollution par le fluor [4].

En résumé, autour de l'usine, les zones les plus polluées se situent à l'intérieur d'un rayon d'environ 2 km suivant la direction des vents dominants. En amont de l'usine, il semble que ce soit le côté gauche de la route cantonale, en remontant la vallée, qui soit le plus touché et ceci plus particulièrement depuis Charrat. En aval, la vallée des Drances semble peu atteinte alors que les alentours de Martigny subissent une pollution modérée mais réelle. La partie orientée NW de la vallée du Rhône, en direction de Vernayaz subit elle une pollution relativement élevée le long de la voie de chemin de fer alors que les zones bordant l'adret et l'ubac surtout sont peu touchées. Nous avons également fait quelques analyses en des points assez éloignés de Martigny, dans les deux sens de la vallée, afin de nous rendre compte de l'extension de cette pollution par le fluor. C'est ainsi qu'à La Balmaz (7 km en aval de Martigny) nous avons trouvé encore 183 ppm ce qui est très élevé à cette distance de l'usine. Forte diminution à Evionnaz (9 km en aval de Martigny) où l'on trouve 50 ppm (peut-être est-ce dû au cône de déjection d'Evionnaz qui fait monter le vent ?) pour retrouver une valeur considérable de 136 ppm à Massongex (16 km). Ceci nous démontre que l'influence des gaz fluorés se fait sentir encore très loin dans la direction de Monthey. En amont nous avons trouvé des valeurs de 150 ppm à St-Pierre-de-Clages (16 km), 241 à Ardon (19 km) et environ 110 à Châteauneuf (22 km). Les valeurs trouvées à Ardon sont certainement dues aux premières influences sérieuses des émissions fluorées des usines de Chippis et Steg alors que Châteauneuf bénéficie en ce sens de la protection fournie par la colline des Maladères.

Corrélations entre les nécroses observées sur les thalles et la teneur en fluor

A chaque échantillon récolté pour le dosage, nous avions noté l'aspect du thalle et la luxuriance de l'espèce, de la façon suivante:

---

4 Ces données ont été présentées sur une carte que nous ne pouvons pas reproduire ici (voir toutefois la carte 1).

aspect du thalle:

— 1. Thalle de couleur noire, verdâtre/jaunâtre, à l'aspect grillé.
— 2. Thalle de couleur gris jaunâtre, à l'aspect moyennement touché.
— 3. Talle de couleur jaune vif, plus ou moins verdâtre, à l'aspect sain.

luxuriance:

— 1. Un seul exemplaire sur le tronc.
— 2. 2 à 5 exemplaires de petite dimension (2-3 cm de diamètre).
— 3. Environ 10 exemplaires de petite dimension.
— 4. Grosses taches nombreuses.
— 5. Tronc recouvert sur une grande surface.

L'attribution de ces coefficients est représentée à la table 1. La carte 2 représente la synthèse de ces deux caractères. On peut la comparer visuellement avec la carte 1 qui, elle, représente les concentrations de fluor trouvées dans les thalles de *X. parietina.*

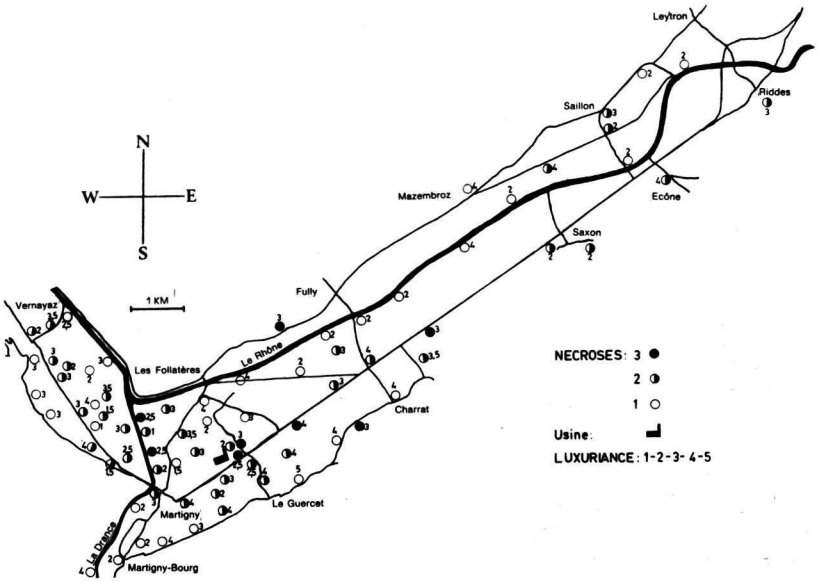

Fig. 2. Répartition des stations et représentation schématique des coéfficients de nécroses attribués aux thalles indigènes de *X. parietina.*

Si visuellement, la comparaison entre les deux cartes montre un noircissement plus ou moins évident des symboles autour de l'usine, ainsi qu'un éclaircissement à mesure qu'on s'en éloigne, ceci concernant la

corrélation entre les nécroses et le fluor accumulé, il est beaucoup plus difficile de comparer ce dernier avec les coefficients de luxuriance. C'est pourquoi nous avons calculé le coefficient de corrélation linéaire r, qui varie en valeur absolue entre 0 et 1. Si r = 0 la corrélation est nulle et il n'y aucune relation entre ces deux variables. Si r = 1 la corrélation est parfaite. En ce qui concerne l'aspect du thalle et l'accumulation du fluor on note une corrélation faible de 0,432 (limite de signification r 0,05 = 0,220; r 0,01 = 0,286) mais nette et significativement différente de 0. La corrélation est beaucoup plus forte (0,647) avec les mêmes valeurs de concentration fluorée, mais celles-ci étant groupées selon les 3 zones décrites ci-dessus. Nous pouvons donc dire que, s'il existe un rapport certain et significatif entre l'augmentation de la teneur en fluor total des thalles de *X. parietina* et l'assombrissement des couleurs du lichen vers le gris et le noir, il se confirme que ces mêmes symptômes peuvent être causés par d'autres facteurs, tels les conditions climatiques extrêmes (sécheresse), d'autres polluants que le fluor (SO_2), des maladies et des attaques provenant d'insectes.

Ainsi, avec *X. parietina,* comme avec les feuilles d'abricotier, il faut doser le fluor pour déterminer la cause des dégâts.

Quant à la luxuriance, la corrélation avec la teneur en fluor des thalles est nulle dans les deux cas. On peut apporter à ce résultats deux explications:

1. — Nos critères de luxuriance étaient mal choisi. On n'a considéré en effet que l'arbre sur lequel l'échantillon était prélevé et non les alentours du site de prélèvement.

2. — En ce qui concerne *X. parietina,* qui est un lichen très nitrophile (GILBERT 1973) l'apport en substances azotées peut lui permettre de survivre dans les endroits de pollution assez élevée. Pour les calculs nous n'avons pas pu tenir compte de l'eutrophisation des sites.

LA VEGETATION EPIPHYTIQUE CORTICOLE DES PEUPLIERS DE LA REGION ETUDIEE

Pour estimer les effets du fluor sur la distribution des épiphytes corticoles autour de l'usine de Martigny, nous avons choisi une méthode qui consiste à donner un indice de pureté atmosphérique à chaque site étudié. C'est DE SLOOVER & LEBLANC (1968) qui ont inventé et mis au point ce procédé.

Cet indice donne par une valeur numérique basée sur le nombre, la fréquence, la couverture et la toxicotolérance des épiphytes présents

sur chaque site, une indication du degré de pollution atmosphérique au niveau du site.

Méthode

Sélection du phorophyte

Il est évident que tout doit être fait pour ne prendre en considération que des habitats écologiques similaires, minimisant ainsi les facteurs autres que la pollution. Notre choix était limité étant donné que dans la plaine du Rhône il ne reste plus que deux types d'arbres en nombre suffisant: les arbres fruitiers et les peupliers. Les premiers ne purent être pris en considération pour la simple raison qu'ils sont traités régulièrement. Nous avons donc choisi les peupliers: le peuplier d'Italie, le peuplier hybride suisse et le peuplier blanc. Une seule fois nous avons dû utiliser des saules blancs (Riddes).

Sélection du site

Etant donné le peu de groupes de peupliers restant dans la plaine du Rhône, nous avons donc fait nos relevés où se trouvaient ces arbres: 35 sites ont été considérés et 10 arbres en moyenne par site ont été soigneusement examinés.

Relevé des épiphytes

La base et le tronc de chaque arbre ont été soigneusement examinés avec une loupe de terrain jusqu'à une hauteur d'environ deux mètres. Nous avons ainsi relevé tous les épiphytes présents sur l'arbre dans les limites fixées.

En ce qui concerne l'attribution des coefficients nous n'avons pas suivi les auteurs cités précédemment. Nous avons, en effet, séparé les critères de fréquence et de couverture augmentant ainsi la précision de relevé.

— Le coefficient de fréquence (F):
  — Espèce présente sur 1- 2 arbres: coefficient 1
  — Espèce présente sur 3- 4 arbres: coefficient 2
  — Espèce présente sur 5- 6 arbres: coefficient 3
  — Espèce présente sur 7- 8 arbres: coefficient 4
  — Espèce présente sur 9-10 arbres: coefficient 5

— Le coefficient de couverture (C) fut donné à chaque espèce selon une échelle déterminée par nos soins, allant de 1 (couverture minimale < 9 cm^2) à 5 (couverture maximale: $> 0{,}6$ m^2).

En multipliant pour chaque espèce le coefficient de fréquence (F) par celui de couverture (C), nous avons déterminé le coefficient mixte de fréquence-couverture (fc) de DE SLOOVER & LEBLANC.

Calcul de l'indice de pureté atmosphérique (IAP)

Pour chaque site l'indice de pureté atmosphérique a été calculé de la manière suivante:

$IAP = (\Sigma(Q \times fc))/100$

— IAP = indice de pureté atmosphérique.
— n = nombre d'espèces présentes sur le site.
— fc = coefficient mixte de fréquence-couverture.
— Q = cortège moyen spécifique (CMS) ou facteur de toxicotolérance d'une espèce (DE SLOOVER 1969).
— Le résultat est divisé par 100 pour avoir à sa disposition des chiffres maniables.

Le cortège moyen spécifique (CMS) est le nombre moyen d'épiphytes entourant une espèce donnée dans la région étudiée. On le calcule pour chaque espèce en divisant le nombre total d'éphiphytes dans tous les sites étudiés, présents avec l'espèce pour laquelle on calcule le CMS, par le nombre total de sites où cette espèce a été relevée.

Exemple: Xanthoria parietina a été relevé dans chacun des 35 sites étudiés, où il est accompagné au total de 662 épiphytes.

Il possède donc un nombre moyen de: $\frac{662}{35} = 19$ compagnons $= Q$

En fait, Q exprime numériquement pour chaque espèce un indice écologique ou un facteur de résistance apparant vis-à-vis de la pollution atmosphérique seule, si les critères d'homogénéité cités plus haut sont respectés.

On peut dans ce cas dire que, plus la valeur de Q est élevée, moins l'espèce est résistante à la polution de l'air et vice versa.

Il est bien entendu que la méthode possède des limites. Dans notre cas, il est difficile d'avoir des sites réellement homogènes vu le nombre limité d'arbres substrats. D'autre part ces arbres n'ont pas tous le même âge. De plus, d'autres sources de pollution peuvent intervenir.

Espèces:	Fb	Nb	Q	Z1	Z2	Z3	Z4	N	X	C
Pleurococcus viride	a	100	19	3	9	16	7	-	*(1)	-
Xanthoria parietina	fo	100	19	3	9	16	7	+	+	-
Physcia ascendens/tenella	fo	97	19	3	8	16	7	+	-	-
Physcia orbicularis	fo	94	20	2	8	16	7	+	-	-
Orthotrichum sp.	m	91	19	2	8	15	7	-	+	-
Lecanora subfusca s.l.	c	91	20	2	8	15	7	+	-	-
Caloplaca pyracea	c	89	20	2	8	15	6	+	-	-
Xanthoria fallax	fo	86	20	2	6	15	7	+	-	+
Lepraria candellaria	l	86	20	1	8	14	7	-	-	-
Physcia stellaris	fo	74	20	2	8	12	4	+	-	-
Lecidea elaeochroma	c	74	20	2	6	12	5	+	-	-
Caloplaca cerina	c	69	20	-	4	15	5	+	-	-
Rinodina exigua	c	69	20	2	7	10	5	+	-	-
Lepraria aeruginosa	l	66	21	1	7	9	6	-	-	-
Lecanora umbrina	c	63	21	-	6	11	5	+	-	-
Physcia pulverulenta	fo	63	22	-	4	11	6	+	+	-
Lecanora distans	c	60	19	1	4	11	5	-	-	-
Physcia labrata	fo	57	20	-	3	12	5	-	-	-
Parmelia subargentifera	fo	46	23	1	2	7	6	-	-	-
Tortula ruralis/papillosa	m	40	23	-	2	7	5	-	+	-
Candelaria concolor	fo	37	22	-	4	5	4	+	-	-
Tortula laevipula	m	37	23	-	2	6	5	-	+	-
Trentepolia sp.	a	29	21	-	1	6	3	-	-	-
Parmelia exasperatula	fo	29	22	-	4	2	4	-	-	-
Pylaisia polyantha	m	26	25	-	-	4	5	-	-	-
Frullania dillatata	h	20	26	-	-	3	4	-	+	-
Physcia dubia	fo	17	18	-	-	5	1	+	-	-
Parmelia aspera	fo	17	22	-	3	2	1	-	-	-
Leucodon sciuroides	m	17	24	-	-	3	3	-	+	-
Anaptychia ciliaris	fr	17	25	-	-	3	3	+	+	-
Physcia aipolia	fo	17	26	-	-	3	3	+	-	-
Parmelia glabra	fo	14	19	-	2	3	-	-	-	-
Physcia ciliata	fo	14	22	-	1	2	2	-	-	-
Parmelia sulcata	fo	14	22	-	1	3	1	-	*(2)	-
Leskea polycarpa	m	14	23	-	1	-	4	-	-	-
Rinodina conradi	c	11	18	1	-	2	1	-	+	-
Caloplaca aurantiaca	c	11	22	-	2	1	1	-	-	-
Pertusaria albescens	c	11	23	-	1	2	1	-	-	+
Lecanora carpinea	c	11	24	-	-	3	1	-	-	-
Physcia nigricans	fo	9	21	-	1	-	2	-	-	-
Xanthoria polycarpa	fo	9	24	-	1	-	2	+	-	-
Evernia prunastri	fr	9	26	-	1	1	1	-	-	-
Porella plathyphylla	h	9	27	-	-	1	2	-	-	-
Parmelia scortea	fo	9	30	-	-	-	3	+	+	-
Physcia elaeina	c	6	21	-	-	2	-	+	-	+
Aspicilia mutabilis	c	6	25	-	-	1	1	-	-	-
Radula complanata	h	6	25	-	-	-	2	-	+	-
Caloplaca phlogina	c	6	25	-	-	1	1	-	-	-
Parmelia acetabulum	fo	6	27	-	-	1	1	+	+	-
Lecanora leptyrodes	c	6	29	-	1	-	1	-	-	-
Parmelia borreri	fo	6	31	-	-	-	2	-	-	-
Lecidea elabens	c	3	18	-	1	-	-	-	-	-
Parmelia fuliginosa	fo	3	20	-	-	1	-	-	+	-
Xanthoria lobulata	fo	3	21	-	-	1	-	-	-	-
Opegrapha varia	c	3	22	-	-	-	1	+	-	-
Candelariella vitellina	c	3	22	-	1	-	-	-	-	-
Bacidia sp.	c	3	22	-	-	-	1	-	-	-
Usnea sp.	fr	3	24	-	1	-	-	-	-	-
Hypogymnia physodes	fo	3	31	-	-	-	1	-	*(3)	-

Fb: forme biologique: a Algues
c Crustacés
fo Foliacés
fr Fruticuleux
h Hépatiques
l Lèpres
m Mousses

Nb: total de sites dans lesquels l'espèce est présente (%)

Q: coéfficient de toxicotolérance (cf. texte)

Z: nombre de sites, dans la zone considérée, dans lesquels l'espèce est présente

Ecologie: N nitrophile
X xérophyte
C coniophile
*(1) xérotolérant, toxicotolérant
*(2) xérotolérant
*(3) acidophile

Tableau 2. Liste, répartition dans les différentes zones de pollution et écologie des espèces relevées dans les 35 sites IAP.

Aspect général de la végétation épiphytique sur les peupliers du Valais central

Si l'on regarde la table 2, on s'aperçoit que parmi les espèces les plus fréquentes, *X.parietina, Physcia ascendens,* etc. sont caractéristiques de la fédération *Xanthorion,* représentée en Valais, principalement par les sub-alliances *Physcion ascendentis* (à physciacées dominantes) et le *Parmelion acetabulae* (à parmeliacée dominantes) (BARKMAN 1958).

En général, la composition de cette flore épiphytique concorde assez bien avec la liste des espèces favorisées par des conditions eutrophes (JAMES 1973). Nous n'avons pas trouvé de désert épiphytique (IAP = 0). Ceci s'explique par deux raisons:

1. Importance de la protection: abris, creux dans l'écorce, bas de tronc avec hautes herbes.

2. Eutrophisation: des conditions fortement eutrophes permettent aux épiphytes de mieux tolérer la pollution (GILBERT 1971) (MARTIN, JACCARD 1968).

Au total nous avons 60 Epiphytes dont 47 Lichens, 6 Mousses, 3 Hépatiques, 2 Lèpres et 2 Algues dans les 35 sites de la région.

Nous avons divisé la région étudiée en 4 zones [5]:

— zone de forte pollution 1: IAP de 0 à 10; cette zone se répartit tout autour de l'usine décrivant une bande de 300 m de large et 3 km de long;

— zone de moyenne pollution 2: IAP de 11 à 20; en aval une bande étroite le long de la voie de chemin de fer, jusqu'à Vernayaz; en amont jusque dans la région de Charrat (3,5 km);

— zone de faible pollution 3: IAP de 21 à 30); entourant la zone 2. Allant, en aval jusque dans la région de St-Maurice et en amont jusqu'à Sion;

— zone peu ou pas touchée 4: IAP $>$ 30; région des Follatères, de Massongex et de Riddes.

Seulement deux espèces ont été trouvées dans tous les sites: *X. parietina* et *Pleurococcus viride.* Jusqu'à 750 m de l'usine, dans la direction dominante des émissions fluorées (NEE), on ne trouve aucune Hépatique, qu'une seule espèce de Mousse, *Orthotricum sp.*, les deux Lèpres, une Algue *Pleurococcus* et 13 Lichens.

---

[5] Ces données ont été portées sur une carte que nous ne pouvons pas reproduire ici.

De nouvelles espèces apparaissent dès que l'on se trouve dans des sites plus éloignés de l'usine ou étant situés hors du parcours dominant des gaz fluorés dans la vallée.

Les valeurs du cortège moyen spécifique (Q) de chaque espèce se situent entre 18 et 31. *X. parietina, Pleurococcus viride, Physcia ascendens/tenella, Lecanora distans et Orthotricum sp.* (Q = 19), parmi les espèces les plus fréquentes peuvent être taxées d'espèces résistances à la pollution fluorée. Alors que les Parmeliacées ainsi que les Hépatiques et les Mousses peuvent être considérées comme étant des espèces sensibles à cette pollution (Q = 23 à 31).

Les indices de pollution atmosphérique des 35 sites étudiés varient entre 4,5 et 44.

Les sites dont les valeurs IAP sont les plus élevées (donc les moins pollués) comme St-Triphon, Massongex, Ardon sont ceux qui sont les plus éloignés de l'usine.

Les valeurs IAP les plus basses sont incontestablement enregistrées tout près de l'usine, sous les vents dominants, ce qui est significatif de l'effet du fluor sur la flore épiphytique. Ainsi les valeurs varient très rapidement dans la direction nord/sud, alors que cette variation est plus lente dans la direction NEE en amont de l'usine. Nous avons par exemple, au nord de l'usine, près du pont de Branson (1,4 km de l'usine) une valeur IAP = 29, alors que dans la direction NEE, il faut aller jusqu'à La Vouya/Saxon (5,4 km), pour pouvoir retrouver une valeur IAP correspondante. D'autre part on remarque que les espèces les plus fréquentes (100 à 50 %) sont présentes dans toutes les zones, alors que les espèces les plus rares sont absentes des zones 1 et 2, les plus polluées (table 2). La seule espèce fruticuleuse est *Anaptychia ciliaris* (espèce nitrophile) qui n'apparaît qu'en zone 3 puis en zone 4 où sa fréquence et sa couverture ont nettement augmenté. Cela confirme que les espèces fruticuleuses sont très sensibles à la pollution.

Les espèces foliacées plus résistantes sont présentes dans toutes les zones. Il est cependant frappant de voir que leurs coefficients de couverture surtout et de fréquence augmentent au fur et à mesure que l'on se dirige vers les zones les moins polluées.

Quant aux espèces crustacées elles sont également présentes partout. Cependant leur coefficient de couverture n'augmente pas de la zone 1 à la zone 4 mais se stabilise en zone 2 ou 3. Cela signifie que, si elles supportent difficilement la forte pollution de la zone 1, elles se développent très bien en zone moyennement polluée où elles subissent moins la concurrence des espèces foliacées.

CONCLUSION

La cartographie des indices de pureté atmosphérique des 35 sites étudiés correspond aux zones de pollution observées dans le cas des concentrations de fluor accumulé par *X. parietina.* Ces zones sont allongées dans le sens de la vallée, caractéristiques de la dispersion du fluor dans la région (SEDE 1974).

De plus, nous avons calculé le coefficient de corrélation linéaire entre les valeurs IAP des sites étudiés et les concentrations de fluor auxquelles ces sites sont soumis (mesures Harding, été 1973, SEDE 1974). Nous avons trouvé un coefficient r = —0,647, établissant donc qu'il existe une corrélation négative significative entre ces deux facteurs. Cela signifie que les indices IAP élevés se situent dans les zones de faible concentration fluorée, alors que les valeurs IAP plus basses caractérisent les zones de forte concentration en fluor, proches de l'usine.

Le fait que «le procédé IAP exprime une réponse de la végétation épiphytique à un effet de la pollution à long terme et peut ainsi être utilisé comme un procédé indirect d'indexation de la pureté atmosphérique. Dans les endroits où l'atmosphère a été contaminée sur une longue période de temps, les valeurs IAP doivent être basses et dans les lieux où l'air est resté pur, ou vient juste d'être contaminé, les indices doivent être élevés» (LEBLANC, DE SLOOVER 1970), se trouve confirmé.

Les deux études IAP et fluor accumulé dans le thalle de *X. parietina* nous ont permi de délimiter en gros les zones principales de pollution.

— *Les alentours de l'usine,* se prolongeant en amont jusqu'à la gare de Charrat, le long de la route cantonale et en aval jusqu'au canal des Drances, plutôt en direction de la Bâtiaz. Concernant le côté intérieur du coude, les Follatères, on note une forte accumulation de fluor dans les thalles de *X. parietina,* alors que la valeur IAP de ce site le situe dans la zone non touchée. Il est à remarquer que si la flore épiphytique de ce site est relativement riche, elle se cantonne, sur les arbres, dans la direction tout à fait opposée aux émissions de l'usine. Le centre de la ville de Martigny subit une pollution moyenne alors que la vallée des Drances n'est pas ou peu touchée.

— *Vernayaz:* dans les deux cas ce village semble subir une pollution assez élevée.

— *Saillon:* au niveau du village on note une très forte augmentation dans l'accumulation par *X. parietina.* L'IAP qui n'a pas été pris au même endroit possède également une valeur relativement basse (= 22) par rapport à celle de Saxon de l'autre côté de la vallée (= 30,5).

En amont de l'usine, dans les deux cas, nous avons observé une tendance des vents d'aval et par conséquent des émissions fluorées à se diriger vers la gauche de la route cantonale en remontant la vallée et ceci environ depuis la gare de Charrat à 3,5 km de l'usine.

Il semble donc que cette étude, malgré certains points laissant à désirer, donne, d'une part, une bonne idée des effets de la pollution du fluor sur les lichens en général ainsi que sur la flore épiphytique corticole autour de Martigny et, d'autre part, montre que le sujet n'est pas simple et qu'il exige que l'on soit très rigoureux dans les méthodes d'analyse et d'estimation des différents facteurs entrant en considération si l'on veut obtenir des résultats significatifs de l'effet de la pollution seule sur les lichens. C'est pourquoi, en ce qui concerne la pollution par le fluor du moins, les travaux entrepris étant encore peu nombreux, nous pensons que les futures recherches, particulièrement avec les expériences de fumigation contrôlée, permettront certainement à l'avenir de généraliser l'emploi des lichens comme indicateurs biologiques de la pollution atmosphérique.

Bibliographie

ADENU (Association de défense contre les émanations nocives des usines), 1976: *Dossier Fluor.*

AUGIER, J. 1966. *Flore des Bryophytes.* Enc. bio. No 64, Ed. Lechevalier.

BARKMANN, J.J. 1958. *Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes.* Assen (Holl).

DESBAUMES, P. et E. BOVAY. 1971. *Détermination des immissions fluorées au moyen d'appareils d'absorption statique, type Harding modifié.* Rev. Suisse Vit. 3.

DE SLOOVER, J. 1969. *Pollution atmosphérique et tolérance spécifique chez les lichens.* Bull. Soc. Bot. France, Colloque sur les Lichens, 1967. Mémoires 1969.

DE SLOOVER, J. et F. LEBLANC. 1968. *Mapping of atm. poll. on the basis of lichens sensitivity. In* Proc. of the Symp. on Recent Adv. in Trop. Ecol. Varanasi, India.

FERRY, B.W., M.S. BADDELEY et D.L. HAWKSWORTH. 1973. *Air pollution and Lichens.* The Athlone press of the University of London.

FIORAVANTI, P., R. ZUBER et M. HALMI. 1970. *Dosage du fluor à l'aide d'une électrode spécifique dans des subst. de diff. nature.* Mitt. Lebens-m'unter. u. Hyg. 61.

FREY, E. 1959. *Beitrage zu einer Lichenflora der Schweiz.* I. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 69.

— 1963. *Beitrage zu einer Lichenflora der Schweiz.* II. III. Ber. Schweiz Bot. Ges. 73.

GILBERT, O.L. 1971. *The effect of airborne Fluorides on Lichens.* Lichenologist 5.

— 1973. *The effect of Airborne Fluorides.* In Ferry et Coll.

HOLUB, Z. et O. KONTRISOVA. 1973. *Phytoindikation der luftverunreinigung durch Fluorimmissionen.* Biologica (Bratislava) 28 (10).

JAMES, P.W. 1973. *The effect of Air Pollutants other than hydrogen fluoride and Sulphur Dioxide on Lichens. In* Ferry et Coll.

LEBLANC, F. et J. DE SLOOVER. 1970. *Relation between industrialisation and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal.* Can. J. Bot. 48.

MARTIN, J.-F. et F. JACQUARD. 1968. *Influence des fumées d'usines sur la distribution des lichens dans la vallée de la Romanche (Isère).* Poll. atm. 10.

OZENDA, P. et G. CLAUSADE. 1970. *Les lichens, étude biologique et flore illustrée.* Masson, Paris.

QUINCHE, J.-P. 1973. *La pollution des cultures arboricoles et viticoles du Valais par le Fluor en 1970 et 1971.* Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic. 5 (4).

S.E.D.E. S.A. 1974. *Dispertion des polluants fluorés de l'usine d'aluminium de Martigny.* Etudes météorologique.

SMITH, D.C. 1960. *Studies in the Physiology of Lichens (2).* Annals of Botany N.S. 24 (94).