

Zeitschrift: Saussurea : journal de la Société botanique de Genève
Herausgeber: Société botanique de Genève
Band: 21 (1990)

Artikel: Bryophytes corticoles dans le canton de Genève : aperçu floristique et bioindication
Autor: Papert, Artemis
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1099111>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Bryophytes corticoles dans le canton de Genève: aperçu floristique et bioindication

ARTEMIS PAPERT

RÉSUMÉ

PAPERT, A. (1990). Bryophytes corticoles dans le canton de Genève: aperçu floristique et bioindication. *Saussurea* 21: 123-146. En français, résumés français et anglais.

Dans le canton de Genève (Suisse), les bryophytes corticoles ont été recherchés sur les troncs de 94 arbres entre 0.5 et 1.5 mètres de hauteur. Vingt-et-une espèces de mousses, appartenant à 11 genres, et une espèce d'hépatique ont été trouvées. Les relevés effectués appartiendraient à l'alliance du *Tortulion laevipilae* Ochsner 1928. Plusieurs zones ont pu être mises en évidence selon la qualité de l'air, soit en utilisant la méthode de l'IAP (indice de pureté atmosphérique), soit en se basant sur la richesse floristique.

ABSTRACT

PAPERT, A. (1990). Epiphytic bryophytes in the canton of Geneva (Switzerland): floristic survey and bioindication. *Saussurea* 21: 123-146. In French, French and English abstracts.

In the canton of Geneva (Switzerland), epiphytic bryophytes have been looked for on 94 tree trunks at a height between 0.5 and 1.5 meters. 21 moss species, belonging to 11 genera, and one hepatic species have been found. The "relevés" carried out belong apparently to the *Tortulion laevipilae* Ochsner 1928 alliance. Several zones of different air quality have been delimited, either using the IAP method (Index of atmospheric purity) or the species richness.

Introduction

Buts de cette étude

Le but de cette étude est de donner un aperçu de la flore bryologique actuelle du canton de Genève, puis d'utiliser les données floristiques pour la bioindication de la qualité de l'air.

Faute de temps, il n'a pas été possible d'examiner la bryoflore de tous les substrats. Il a fallu donc limiter l'étude floristique aux bryophytes corticoles. Ceux-ci présentent l'avantage de permettre une assez bonne standardisation de leur substrat.

Les données floristiques ont toutes été recueillies entre les mois de février et octobre 1988, dans le cadre d'un travail de diplôme à l'Université de Genève. Les échantillons récoltés ont été déposés dans l'herbier des Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève. La nomenclature utilisée suit celle de GEISSLER & URMI (1984).

Travaux sur les cryptogames et la bioindication de la qualité de l'air

Les effets néfastes d'un air de mauvaise qualité sont connus depuis bien longtemps. KISS (1987) raconte qu'en 1306 il avait été interdit aux Londoniens de brûler le charbon provenant de Newcastle à cause du type de fumée produite. JOHNSON (cité par GILBERT, 1970b), en 1879, accusait la pollution d'être responsable de la mort des lichens. WILSON (1900) déplore qu'on ne réalise pas suffisamment l'effet néfaste de la fumée. Il fait remarquer le "misérable état" de la végétation du nord de l'Angleterre, où beaucoup de fumée est produite, et "la grande diminution de l'abondance et de la luxuriance des mousses et des hépatiques aux alentours des grandes villes". Il parle du danger d'extinction pour les genres *Ulotia* et *Orthotrichum*. HORWOOD (1907) dit qu'il est prouvé que dans certaines régions d'Angleterre les mousses et hépatiques ont disparu à cause "du déboisement, du drainage, de l'empoisonnement par la fumée et autres opérations artificielles". Il ajoute qu'à cause de l'industrialisation, le botaniste se trouve confronté à la disparition de tous les lichens, suivie, tôt ou tard, par celle des mousses et des hépatiques, dans des régions où autrefois elles prospéraient. Mais le premier à mettre en évidence la possibilité d'utiliser des cryptogames comme bioindicateurs fut le botaniste finnois Nylander. Il remarque aussi l'effet positif de la pollution sur certaines espèces. Lors d'une séance de la Société botanique de France, il dit (NYLANDER, 1866): "(...) à l'intérieur des grandes villes, on les cherche [les lichens] généralement en vain sur les troncs d'arbres (...), à leur place on voit s'étaler (...) les *Protococcus* qui se plaisent surtout dans un air impur (...). Les lichens donnent, à leur manière, la mesure de la salubrité de l'air ambiant". Lors de la même séance, Monsieur Cosson parle de la "corruption de l'air ambiant" qui provoque la décroissance du nombre de lichens. Il ajoute que "le noir de fumée et les émanations ammoniacales achèvent de rendre l'air des villes impropre à la végétation [des lichens]".

ARNOLD (1891-1901) a été le premier à entreprendre des expériences de transplantation. Il observe que des bryophytes ou des lichens venant d'une région ayant un air pur et transportés dans la ville de Munich mouraient peu de temps après. En 1926, Sernander définit dans Stockholm trois zones en fonction de leur richesse lichénique: désert lichénique, zone de transition et zone normale (LEBLANC & RAO, 1973b). Ces définitions ont été par la suite souvent reprises par d'autres auteurs.

Plusieurs revues récentes sur les bryophytes et la pollution atmosphérique ont été publiées (LEBLANC & RAO, 1974; ANDO & MATSUO, 1984; MUHLE, 1984).

Une revue faite par WILL-WOLF (1988), traitant des travaux effectués en Amérique du Nord depuis 1975, indique que 30% des études utilisent un indice numérique. Parmi les nombreux indices qui ont été décrits, on ne citera ici que l'"Indice de pureté atmosphérique" (IAP) de LEBLANC & DE SLOOVER (1970):

$$IAP = \Sigma (Q * f)/10$$

où: Q est l'indice écologique de l'espèce (c'est la moyenne, sur tous les sites, du nombre d'espèces se trouvant avec l'espèce en question); f est la fréquence de l'espèce; la somme porte sur toutes les espèces présentes et le tout est divisé par 10 afin d'avoir des chiffres plus petits et donc plus maniables. Plus l'air est pur, plus la valeur de l'IAP est grande.

En Suisse, les cryptogames ont déjà été utilisés comme bioindicateurs dans plusieurs villes.

A Zürich, VARESCHI (1936) et ZÜST (1977) ont étudié la qualité de l'air en utilisant des bryophytes et des lichens; HERTZ & al. (1984) ont utilisé *Bryum argenteum* Hedw. pour l'analyse de la déposition atmosphérique de métaux lourds. A Bâle, BLATTNER & RITTER (1985) ont fait un inventaire des bryophytes corticoles trouvés dans des zones ayant différents niveaux de pollution. Dans la région de Bienne, HERZIG & al. (1985)

ont cartographié la pollution atmosphérique à l'aide des lichens corticoles. Une très bonne corrélation a été trouvée entre la fréquence des différentes espèces et la concentration des polluants. A Genève, Turian a mis en relation la répartition de certains lichens et la concentration en dioxyde de soufre (TURIAN & DESBAUMES, 1975; TURIAN, 1985).

Bryoflore et pollution

Les bryophytes en tant que bioindicateurs

A cause de leur physiologie, les bryophytes, et spécialement les espèces corticoles, sont de bons bioindicateurs de la qualité de l'air. En effet, ils ne possèdent pas de véritables racines qui leur permettraient d'absorber les éléments nutritifs à partir du substrat. Ainsi, l'apport nutritif principal provient directement des dépositions atmosphériques. A cause de leur relative variété floristique dans la ville de Genève et de leur abondance à l'extérieur de la ville, les bryophytes ont pu servir de bioindicateurs pour cette étude.

L'Ordonnance fédérale suisse sur la protection de l'air du 16 décembre 1985 a pour but de protéger "l'homme, les animaux et les plantes, leurs biotopes et biocénoses, ainsi que le sol, des pollutions atmosphériques nuisibles ou incommodantes". A Genève, le Service d'écotoxicologie possède sept stations de mesure des polluants atmosphériques, mais ces stations ne donnent aucune indication sur l'effet des polluants sur les organismes vivants et encore moins sur les effets antagonistes ou synergiques qui peuvent se produire entre les polluants. Pour connaître l'effet des polluants effectivement présents sur la biocénose, l'étude de bioindicateurs, tels que les bryophytes ou les lichens, apporte des informations irremplaçables.

Il est évident que la réaction des bryophytes aux polluants atmosphériques n'est pas instantanée et une forte pollution de courte durée ne sera pas mise en évidence. Mais on obtiendra des informations sur les concentrations moyennes dans un laps de temps plus ou moins long. Les bryophytes ont une durée de vie de plusieurs années et se trouvaient donc sur place déjà bien avant le début de l'étude. Ils représentent de bons "intégrateurs" de l'historique du lieu. Dans certains cas, cela peut mener à des difficultés d'interprétation de l'information: l'état actuel d'une colonie est-il dû à la pollution récente, ou est-il la conséquence d'un épisode plus ou moins lointain dont le traumatisme affecte encore la colonie? Parce qu'il est très difficile d'estimer l'âge d'une colonie de bryophytes, on ne peut pas savoir, sans comparaisons avec des données floristiques antérieures, si une colonie est une "population relique" ou une association tolérante à la pollution qui s'installe (GILBERT, 1968; TAODA & al., 1981).

Effets des villes et des polluants sur la bryoflore

Il n'est point besoin d'être botaniste pour se rendre compte qu'aux alentours de toutes les villes les bryophytes sont plus nombreux et plus luxuriants que dans la ville elle-même. Genève n'est pas une exception. Différents auteurs attribuent la pauvreté bryophytique des villes à différents facteurs. Les deux facteurs qui sont le plus souvent incriminés sont la pollution de l'air et la sécheresse relative qui règnerait dans les villes. Une revue des différents arguments en faveur de l'une ou l'autre de ces hypothèses a été faite par LEBLANC & RAO (1973a). Certains auteurs ont admis qu'une combinaison des deux facteurs cités ci-dessus pourrait être la cause de la diminution des cryptogames dans les villes. A Genève, on ne dispose pas de données sur les microclimats à l'intérieur de la ville pour pouvoir évaluer leurs effets éventuels sur la bryoflore. Cependant, il est peu probable que la faible abondance des bryophytes dans des endroits situés à moins d'un mètre du Rhône ou du lac soit due à un climat trop sec!

De façon très générale, et sans distinction du type de polluant, on peut affirmer que les principaux effets de la pollution sur les bryophytes sont une diminution de la diversité des espèces, de leur vitalité et de leur fertilité (DE SLOOVER & LEBLANC, 1970; GILBERT, 1970a). Le polluant qui a été le plus étudié est le dioxyde de soufre (SO₂), probablement parce que la toxicité de polluants tels que le monoxyde de carbone ou le dioxyde d'azote n'a été reconnue qu'assez récemment. Le SO₂ provoque la destruction de la chlorophylle, qui se transforme en phéophytine, ce qui provoque une coloration brune des cellules. Il produit ainsi une baisse de la photosynthèse et une augmentation de la respiration. Les oxydes d'azote (NO, NO₂) et les acides fluorhydrique et chlorhydrique (HF, HCl) provoquent les mêmes effets que le dioxyde de soufre. L'ozone (O₃) a un effet d'inhibition sur la photosynthèse. Lorsqu'il est en présence de SO₂ ou de NO₂, il y a, en plus, un fort effet de synergie (KOZIOL & al., 1988).

HAWKSWORTH & ROSE (1970) ont mis au point une échelle permettant de déterminer les concentrations de SO₂ atmosphérique en fonction des espèces de lichens présentes. Pour les corrélations entre les concentrations de SO₂ et l'état des bryophytes, les avis divergent suivant les auteurs: certains affirment que ce sont les moyennes hivernales qu'il faut prendre en compte, d'autres disent que les moyennes annuelles sont plus significatives (GILBERT, 1968 & 1970b). Dans le cas de Genève, où les principales sources de SO₂ sont les chauffages, les concentrations sont nettement plus fortes en hiver qu'en été. Les effets de facteurs tels que la température et l'humidité sur la résistance des bryophytes aux polluants sont encore mal connus. La toxicité du SO₂ augmenterait avec la température (GILBERT, 1968). De plus, les dégâts subis par les plantes partiellement déshydratées (cas fréquent en été) sont plus importants (LEBLANC & RAO, 1966; WINNER & BEWLEY, 1983). Les concentrations estivales de SO₂, bien que plus faibles, seraient donc peut-être plus néfastes que les concentrations hivernales.

Résistance de la bryoflore à la pollution

Afin d'avoir une meilleure idée que celle donnée par les expériences de fumigation sur la résistance de certains bryophytes, il est intéressant de comparer les concentrations de polluant de divers endroits où des bryophytes poussent de façon naturelle sur les arbres. Dans le tableau 1 sont indiquées les concentrations maximum de polluant pour lesquelles l'espèce (ou l'alliance) est encore présente. Malheureusement, les auteurs n'indiquent pas la vitalité des espèces.

Méthodes

Lieu de l'étude

Le canton de Genève est situé à l'extrémité sud-ouest du lac Léman, dans une vallée limitée par le Jura, le Mont Vuache, le Salève et les Voirons (voir l'"Annuaire statistique du canton de Genève", 1988). La tour sud de la Cathédrale de Saint-Pierre (commune de Genève) est située à 6°9' E du méridien de Greenwich et à 46°12' de latitude N. Le point le plus bas du canton est à 330 m et le point le plus haut s'élève à 517 m. La superficie totale de canton est de 282 km², dont 36 km² occupés par le lac.

La température moyenne annuelle à Genève est de 9.2°C, avec des températures extrêmes pouvant atteindre -15°C et +35°C. La moyenne annuelle des précipitations est de 930 mm, répartis sur environ 140 jours. L'humidité relative est de 73% et la pression atmosphérique moyenne de 969 hPa. En 1987 il y a eu 1445 heures d'insolation. Les vents dominants sont des vents du nord-est et du sud-ouest.

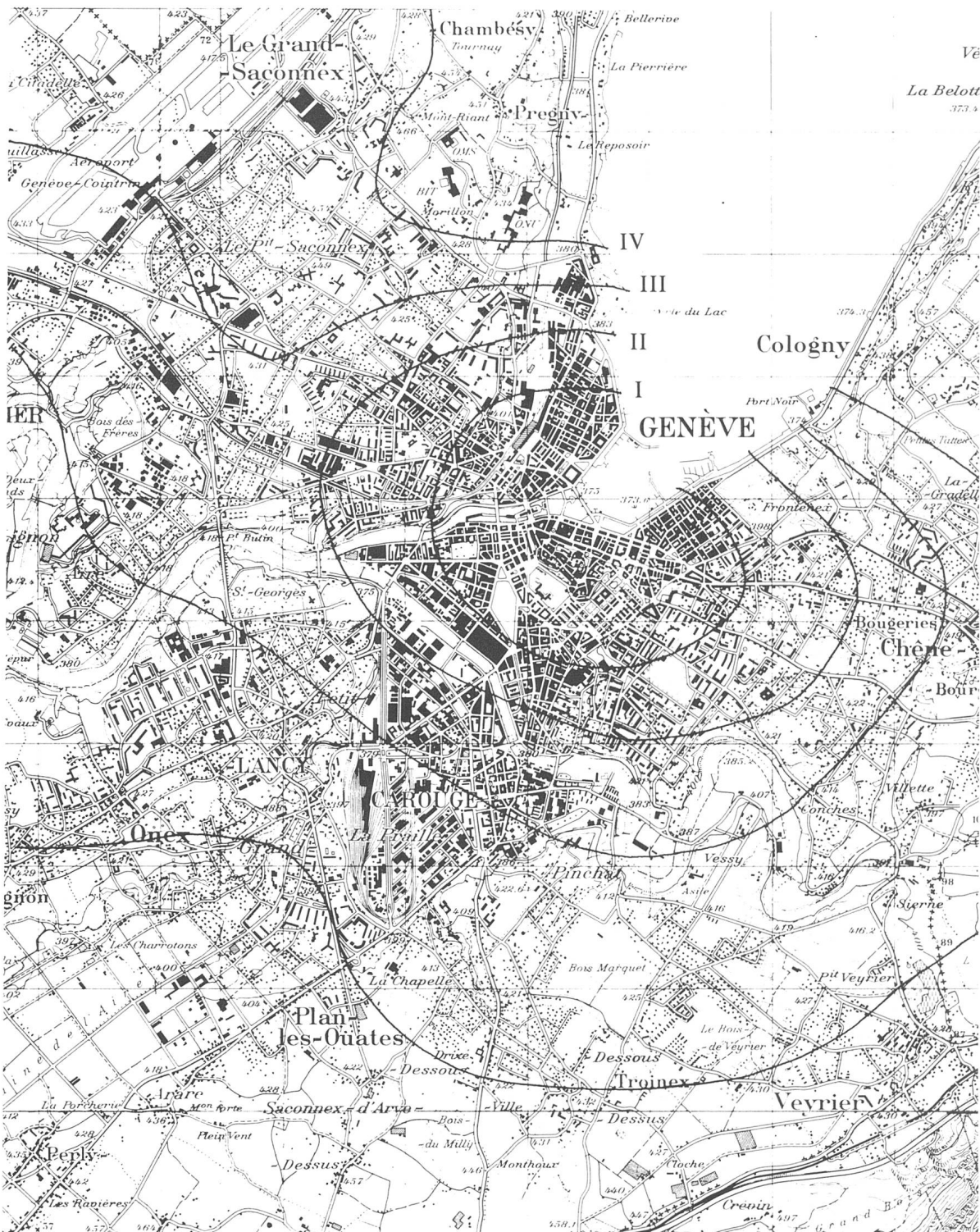


Fig. 1. — Zones de concentration de SO₂ (ppb.) (valeurs de 1975): zone I: 20-25; zone II: 15-20; zone III: 12.5-15; zone IV: 10-12.5; zone V: 7.5-10 (d'après TURIAN & DESBAUMES, 1975).
 Extrait de la feuille 270 de la carte nationale de la Suisse. Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 12.6.1989.

<i>Espèce</i>	<i>Concentration</i> ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	<i>Région</i>
<i>Frullania dilatata</i>	125** 30	Tage ¹ France ²
<i>Amblystegium serpens</i>	88 SO ₂ + 30 NO ₂ #	Szombathely ³
<i>Bryum argenteum</i>	125** 145	Tage ¹ Tokyo ⁴
<i>Bryum capillare</i>	88 SO ₂ + 30 NO ₂ # 125**	Szombathely ³ Tage ¹
<i>Bryum caespiticium</i>	< 28 70**	Tokyo ⁴ Tage ¹
<i>Ceratodon purpureus</i>	88 SO ₂ + 30 NO ₂ # 40	Szombathely ³ Newcastle ⁵
<i>Dicranoweisia cirrata</i>	> 30 40**	France ² Tage ¹
<i>Hypnum cupressiforme</i>	88 SO ₂ + 30 NO ₂ 30 40	Szombathely ³ France ² Newcastle ⁵
<i>Leucodon sciuroides</i>	125**	Tage ¹
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	125**	Tage ¹
<i>Orthotrichum lyellii</i>	60**	Tage ¹
<i>Orthotrichum pumilum</i>	50**	Tage ¹
<i>Pylaisia polyantha</i>	50**	Tage ¹
<i>Tortula laevipila</i>	> 125** #	Tage ¹
<i>Tortulion leavipilae</i>	< 40	Newcastle ⁵

** moyenne hivernale; # pollution maximale indiquée dans la région.

¹Estuaire du Tage (Portugal) (SÉRGIO & SIM-SIM, 1985).

²Moitié nord de la France (VAN HALUWYN & LEROND, 1988).

³Szombathely (Hongrie) sur *Juglans regia* (KISS, 1987).

⁴Tokyo (Japon) (TAODA, 1972).

⁵Newcastle upon Tyne (nord-est de l'Angleterre) (GILBERT, 1970a).

Tableau 1. — Concentration maximale de polluant, les espèces poussent naturellement sur les arbres. Sauf indication contraire, il s'agit de dioxyde de soufre.

Actuellement, le "Réseau d'observation de la pollution de l'air à Genève" (ROPAG) comporte sept stations, réparties entre les milieux urbains et ruraux. Les principales sources de pollution atmosphérique sont les véhicules à moteur et les chauffages, ainsi que, dans une moindre mesure, certaines activités industrielles.

Les polluants les plus importants sont le dioxyde de soufre (SO₂) et les oxydes d'azote (NO_x). L'ozone (O₃) atteint des concentrations importantes, surtout l'été à l'extérieur de la ville. Le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures, les suies, sont des polluants trouvés en relativement faibles quantités. Les émissions de métaux lourds sont très localisées, sauf pour le plomb provenant des véhicules à essence.

TURIAN & DESBAUMES (1975) ont défini à Genève cinq zones de concentrations en SO₂ (voir fig. 1). Aujourd'hui, les limites de ces zones restent toujours valables, mais les concentrations ont diminué environ de moitié, à l'exception de la région de Veyrier (zone V) où la concentration de SO₂ a augmenté. Il faut remarquer que le village de Veyrier connaît un fort trafic de camions dû aux carrières du Salève (France). De plus, depuis 1975, de nombreux immeubles y ont été construits. Les oxydes d'azote sont principalement émis par les véhicules à moteur. Leur concentration sera donc d'autant plus grande que l'intensité du trafic est forte. La moyenne annuelle, au centre ville, en 1988 a été d'environ 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO et de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO₂. BOESCH & HAERDI (1984) ont mesuré les concentrations de plomb et de brome à divers endroits de la ville. Ils ont

trouvé que les concentrations de particules de plomb sont en dessous de 520 ng/m³ et celles de brome en dessous de 130 ng/m³.

Pour des informations plus détaillées sur les diverses mesures de la pollution à Genève, on consultera les publications du Service cantonal d'écotoxicologie publiées chaque année: "Mesure de la qualité de l'air".

Phorophytes utilisés

Pour avoir une bonne homogénéité du substrat, il a fallu se limiter à quelques espèces de phorophytes. Le choix de ces espèces a été dicté par deux critères: appartenir à des espèces indigènes et avoir des écorces qui ont des caractéristiques physicochimiques semblables. Genève possède un très grand nombre d'arbres non indigènes, mais ceux-ci semblent être un substrat moins approprié pour les bryophytes que les espèces indigènes (VARESCHI, 1953). Les espèces choisies sont les suivantes (HERZIG & al., 1985): *Acer platanoides*, *Tilia* sp., *Fraxinus excelsior*, *Juglans regia*, *Quercus robur*, *Quercus petraea*. Malgré leur abondance, *Aesculus* sp., *Platanus* sp., et *Acer pseudoplatanus* n'ont pas été utilisés à cause de la desquamation de leur écorce. Les changements fréquents au cours du temps de la surface de leur écorce empêcheraient des comparaisons ultérieures avec les relevés de cette étude. De plus, les écailles formées constituent des microbiotopes qui offrent une certaine protection contre les polluants.

On a choisi des troncs aussi verticaux et cylindriques que possible. Une inclinaison maximum de 10 degrés a été admise. Une inclinaison plus grande pourrait changer considérablement les conditions de ruissellement de l'eau de pluie le long du tronc et, par conséquent, ses propriétés hygrométriques et nutritives. Pour assurer la plus grande homogénéité possible entre les arbres, ceux qui présentent des dégâts sur l'écorce ou qui sont utilisés comme panneau d'affichage n'ont pas été pris en compte. La circonférence des troncs est comprise entre 90 et 300 cm (mesurée à 1.5 m de hauteur). La présence de bryophytes a été vérifiée sur le tronc entre 0.5 et 1.5 mètres de hauteur. Pour chaque arbre étudié, la présence d'algues ou de lichens a également été notée.

Choix de l'emplacement des arbres étudiés

Les arbres étudiés se situent sur un transect allant de Veyrier à Cointrin (fig. 2). On s'éloigne ainsi progressivement du centre de la ville en allant vers le sud-est et le nord-ouest (direction perpendiculaire à la direction principale des vents). Pour avoir un échantillonnage aussi représentatif que possible des bryophytes épiphytiques genevois, le choix des emplacements des phorophytes est important. La méthode donnant statistiquement le meilleur aperçu de la situation réelle consiste à faire d'abord un inventaire exhaustif de tous les phorophytes potentiellement utilisables et ensuite à effectuer, parmi ceux-là, un tirage au sort pour désigner les arbres à étudier. Faute de temps, cette méthode n'a pas pu être appliquée. La méthode utilisée consiste à choisir d'abord les emplacements sur la carte et ensuite à trouver le phorophyte le plus proche de l'emplacement désigné. Sur le plan de la ville de Genève (échelle 1:10.000) trois sites par 0.25 km² (mailles de 500 × 500 m) ont été tirés au sort, à l'aide d'une table de nombres aléatoires. Les points tombant sur des bâtiments ou des surfaces d'eau n'ont pas été éliminés. Pour chaque point, l'arbre correspondant aux critères définis plus haut et se trouvant le plus près de l'endroit désigné a été retenu. Dans le cas où plusieurs arbres se trouvent à proximité du point désigné, le choix de l'arbre a été fait depuis une distance suffisante afin de ne pas être influencé par la présence ou non d'épiphytes sur les troncs. Les arbres se trouvant dans des propriétés privées n'ont pas été pris en compte.

Tous les auteurs ayant utilisé des épiphytes pour faire des cartes de pollution insistent sur le fait que seuls des arbres isolés, à l'abri de l'influence d'immeubles ou de champs cultivés, doivent être pris en considération. Si ce critère avait été strictement suivi à Genève, il n'y aurait eu qu'un très petit nombre d'arbres utilisés, et leur répartition n'aurait pas permis de couvrir tous les quartiers de la ville. Au total, 94 arbres ont pu être utilisés. Malheureusement, pour des raisons indépendantes de notre volonté, ils ne sont pas répartis aussi uniformément qu'on pourrait le souhaiter. Genève étant densément construite, la majorité des arbres sont, à certains moments de la journée, ombragés par un immeuble. La nature du sol sur lequel pousse chaque phorophyte n'est pas connue. Comme des arbres adéquats n'ont pas pu être trouvés partout, la question s'est posée de l'opportunité d'utiliser d'autres substrats, comme les murs, les pelouses, les fontaines, etc... Ces substrats sont évidemment plus fréquents mais présentent, malheureusement, par rapport aux arbres, encore plus de facteurs incontrôlables. Les murs sont nettoyés plus ou moins fréquemment, et leur date de construction n'est pas toujours connue. L'eau des fontaines est traitée au brome, les pelouses reçoivent des engrais et des herbicides... Dans le but d'avoir une comparaison avec la flore épiphytique d'une région à faible charge de pollution, deux relevés servant de référence ont été faits au pied du Jura, dans le pays de Gex (France).

Surfaces des colonies et degré de recouvrement des troncs

Pour chaque relevé, on mesure le nombre de colonies de chaque espèce et leurs surfaces. Une feuille de plastique transparent est fixée tout autour de l'arbre (entre 0.5 et 1.5 m du sol) et les colonies de bryophytes poussant sur le tronc sont décalquées. Les surfaces ainsi obtenues sont dessinées sur du papier calque. Celui-ci est ensuite photographié par une caméra reliée à un ordinateur. Les surfaces sont mesurées à l'aide d'un programme spécialement conçu à cet effet (TODOROV, 1989, non publié). Il est évident que la précision du résultat final est beaucoup trop grande par rapport à la précision du dessin sur les feuilles de plastique, mais cela permet d'obtenir des résultats beaucoup plus rapidement qu'en mesurant les surfaces avec du papier millimétré. Sur quelques relevés, les surfaces ont été mesurées par deux méthodes: mesures informatiques et mesures avec du papier millimétré, dans le dernier cas directement sur le plastique. Il n'y a pas de différences significatives entre les résultats des deux méthodes, ce qui montre qu'il n'y a pas de perte d'information importante lors de la deuxième étape de décalquage. A cause des imprécisions de la première étape, les pourcentages de recouvrement obtenus ont été regroupés par catégories. Les colonies sont, pour la plupart, trop petites pour pouvoir utiliser les catégories classiques de l'école Braun-Blanquet. Les catégories définies sont les suivantes:

<i>Catégorie</i>	<i>Pourcentage de recouvrement</i>
1	≤ 1%
2	≤ 2%
3	≤ 3%
4	≤ 4%
5	≤ 5%
6	≤ 6%
7	≤ 7%
8	≤ 8%
9	≤ 9%
10	≤ 10%

Afin d'éviter au maximum les erreurs d'identification, aucune détermination n'a été faite uniquement sur le terrain. Dans de rares cas, après identification des espèces au microscope, certaines colonies se sont avérées être composées de deux espèces. Dans ce cas, la surface de chaque espèce a été, arbitrairement, considérée comme la moitié de la surface totale.

Vitalité des colonies

Pour établir une échelle de vitalité des espèces, seuls des caractères visibles à l'œil nu ou au binoculaire ont été retenus. La perte de structure des cellules, caractère visible uniquement au microscope, n'a pas été prise en considération car il n'est pas possible de savoir si les feuilles non observées ont une structure cellulaire intacte ou pas.

La plupart des auteurs considèrent la présence de sporophytes comme témoin d'un air non pollué et la perte de la couleur verte des feuilles comme un indice de la présence de polluants. Cependant, à Genève, un certain nombre de colonies ont été observées sans chlorophylle tout en ayant des sporophytes. Il est probable que la perte de la chlorophylle se soit produite après la formation des sporophytes. Toutes les capsules observées contenaient des spores, mais la viabilité des spores n'a pas pu être contrôlée. La présence de sporophytes n'a donc pas été prise en compte dans cette échelle. L'échelle de vitalité utilisée est la suivante (adaptée de GILBERT, 1968):

1. La majorité des feuilles sont de couleur brunâtre ou blanchâtre.
2. Certaines feuilles sont complètement brunes ou blanches.
3. La majorité des feuilles a la partie supérieure du limbe sans chlorophylle.
4. Seules quelques feuilles présentent des parties sans chlorophylle.
5. Aucune feuille ne semble avoir subi de dommage.

Résultats

Remarques générales

Au total, 21 espèces de mousses ont été trouvées, appartenant à 11 genres différents. Une seule espèce d'hépatique a été trouvée dans la ville. Les bryophytes ont surtout été trouvés sur des tilleuls, des érables, ou des noyers; ils n'ont été trouvés qu'une seule fois sur un frêne (station 4).

Sur tous les phorophytes où des bryophytes ont été trouvés, des lichens sont également présents (la seule exception est le phorophyte 12). Mais des lichens ont souvent été trouvés sans que des bryophytes ne soient présents. Les emplacements des phorophytes où des bryophytes ont été trouvés sont indiqués sur la figure 2.

Dans la majorité des cas, les espèces ne recouvrent même pas le 1% de la surface du relevé. Dans la zone urbaine, aucune espèce n'a un recouvrement de plus de 6%. Dix arbres ont un recouvrement de plus de 1%, mais aucun arbre n'a plus de 10% de sa surface recouverte.

Lorsqu'une espèce recouvre largement un tronc, sa vitalité est souvent faible. Une explication possible de ce fait pourrait être que la croissance de la colonie a eu lieu lorsque l'air était moins pollué et que la diminution de sa vitalité n'a eu lieu que récemment. Il est intéressant de noter que dans certains cas, par exemple pour *Bryum caespiticium* Hedw., la vitalité des colonies est plus grande au centre ville qu'à la périphérie.

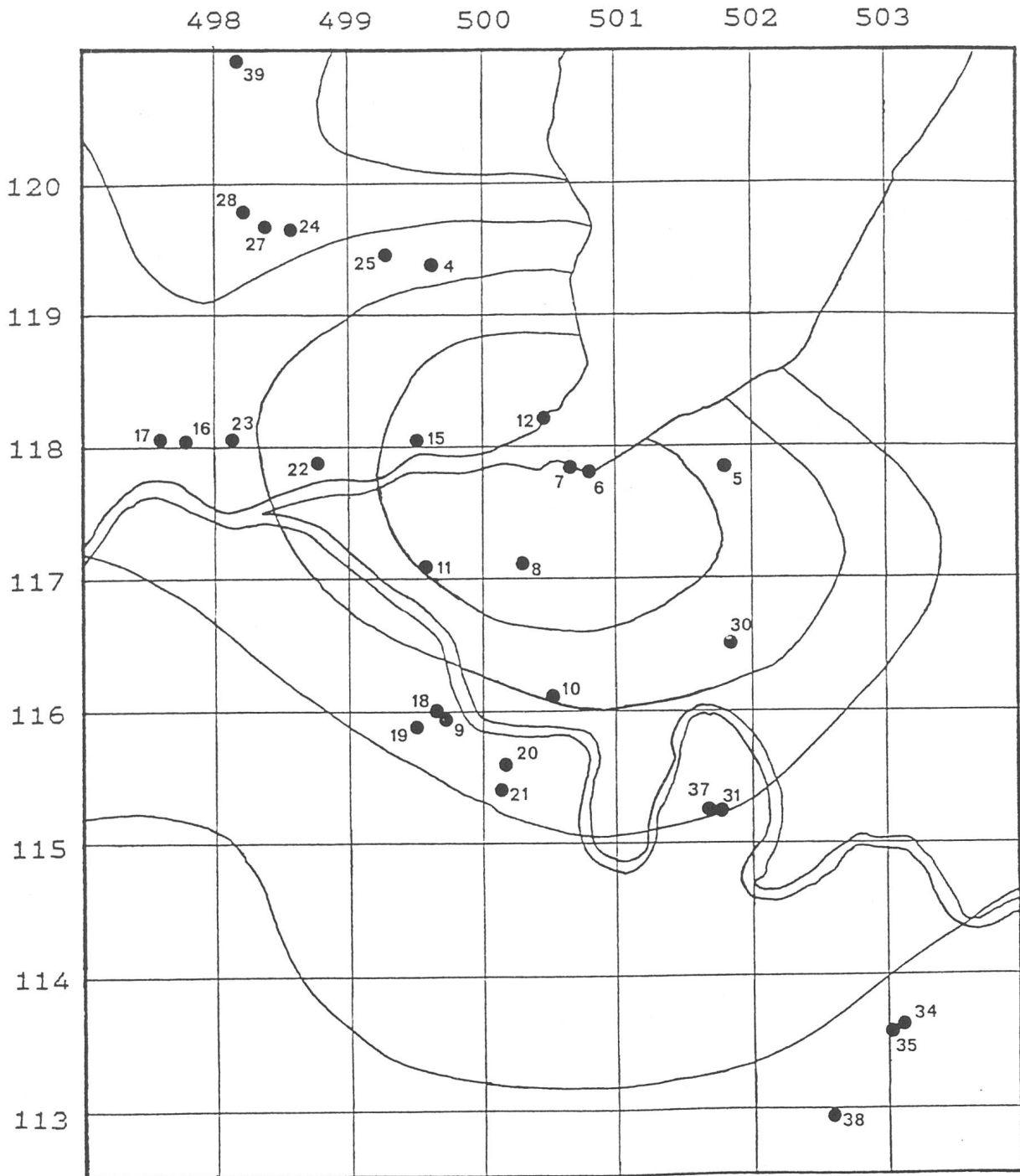


Fig. 2. — Emplacements des phorophytes sur lesquels des bryophytes ont été trouvés sur le tronc (à une hauteur comprise entre 0.5 et 1.5 m). Les numéros correspondent à ceux des relevés.

Tableau 2. — Résultats des relevés

Surf.: surface de tronc recouverte par l'espèce (mm²)

CR: catégorie de recouvrement de l'espèce (en gras: catégorie pour l'ensemble des espèces sur le relevé)

NC: nombre de colonies

T: taille moyenne d'une colonie (mm)

Vit.: vitalité



indique que les deux espèces n'ont pas été différenciées sur le terrain

Remarques:

V colonies vertes

R colonies rouges

PN propagules nombreuses

B quelques rameaux bruns

F colonies femelles

c.fr. colonies avec sporophytes

	Surf.	CR	NC	T	Vit.	Remarques
Relevé 4		1				
<i>Hypnum cupressiforme</i>	250	1	4	63	5	
<i>Orthotrichum</i> sp.	297	1	20	15	5	
Relevé 5		1				
<i>Ceratodon purpureus</i>	9	1	1	9	4	
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	37	1	2	19	5	
<i>Orthotrichum</i> sp.	38	1	4	10	4	
<i>Frullania dilatata</i>	114	1	1	114	5	V
Relevé 6		1				
<i>Bryum</i> cf. <i>caespiticium</i>	48	1	1	48	5	
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	4685	1	48	98	4	c.fr.
Relevé 7						
<i>Tortula</i> cf. <i>virescens</i>	310	1	5	62	2	PN
Relevé 8		3				
<i>Bryum flaccidum</i>	7988	1	27	296	2	
<i>Bryum</i> sp.	9	1	1	9	5	
<i>Orthotrichum lyellii</i>	23513	1	74	318	5	
cf. <i>Pylaisia polyantha</i>	33373	2	31	1077	2	
Relevé 9		2				
<i>Dicranoweisia cirrata</i>	2120	1	24	88	5	
<i>Hypnum cupressiforme</i>	12204	1	69	177	2	
<i>Orthotrichum lyellii</i>	933	1	18	52	3	
<i>Orthotrichum</i> sp.	1339	1	28	48	5	
<i>Tortula virescens</i>	236	1	7	34	1	
<i>Tortula</i> cf. <i>virescens</i>	1053	1	5	211	1	
<i>Frullania dilatata</i>	15	1	1	15	5	R
Relevé 10		1				
<i>Orthotrichum affine</i>	69	1	2	35	5	c.fr.
<i>Frullania dilatata</i>	118	1	1	118	5	V
Relevé 11						
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	27	1	16	2	5	
Relevé 12		2				
<i>Bryum argenteum</i>	8	1	2	4	5	
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	34969	2	254	138	5	c.fr.
Relevé 15		1				
<i>Bryum argenteum</i>	83	1	3	28	5	
<i>Bryum</i> sp.	6	1	1	6	5	
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	59	1	3	20	4	
<i>Orthotrichum</i> sp.	40	1	1	40	5	

	Surf.	CR	NC	T	Vit.	Remarques
Relevé 16		1				
<i>Orthotrichum lyellii</i>	2521	1	51	49	1	
<i>Tortula papillosa</i>	833	1	31	27	1	
<i>Frullania dilatata</i>	2627	1	6	438	5	V, R
Relevé 17		1				
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	22	1	1	22	2	c.fr.
<i>Orthotrichum lyellii</i>	265	1	4	66	4	
Relevé 18		1				
<i>Hypnum cupressiforme</i>	55	1	16	3	5	
▶ <i>Orthotrichum diaphanum</i>	444	1	12	37	5	
▶ <i>Tortula virescens</i>	444	1	12	37	5	
▶ <i>Orthotrichum lyellii</i>	1604	1	181	9	4	
▶ <i>Tortula papillosa</i>	1604	1	180	9	2	
<i>Frullania dilatata</i>	218	1	1	218	5	V
Relevé 19		1				
<i>Orthotrichum lyellii</i>	261	1	34	8	2	
cf. <i>Orthotrichum lyelli</i>	23	1	4	6	1	
<i>Pylaisia polyantha</i>	131	1	3	44	2	
Relevé 21		4				
<i>Orthotrichum affine</i>	91	1	4	23	4	c.fr.
<i>Orthotrichum lyellii</i>	124	1	1	124	3	
▶ <i>Orthotrichum pumilum</i>	9537	1	121	79	3	
▶ <i>Tortula papillosa</i>	9536	1	122	78	3	
<i>Orthotrichum</i> sp.	566	1	36	16	2	
<i>Pylaisia polyantha</i>	17485	2	40	437	2	
<i>Frullania dilatata</i>	2891	1	4	723	4	V, R
Relevé 22		2				
<i>Bryum argenteum</i>	13836	2	8	1730	5	
cf. <i>Orthotrichum diaphanum</i>	33	1	5	7	2	F
<i>Tortula laevipila</i>	23	1	2	12	2	
<i>Tortula ruralis</i>	10	1	1	10	2	
<i>Tortula virescens</i>	151	1	8	19	2	
Relevé 23		2				
<i>Bryum argenteum</i>	16	1	3	5	5	
<i>Leucodon sciuroides</i>	396	1	5	79	5	
<i>Orthotrichum affine</i>	2190	1	91	24	5	c.fr.
<i>Orthotrichum</i> sp.	30	1	1	30	2	
<i>Tortula laevipila</i>	3279	1	14	234	5	
<i>Tortula papillosa</i>	5109	1	88	58	2	
<i>Frullania dilatata</i>	3069	1	7	438	4	V, B
Relevé 24		1				
<i>Hypnum cupressiforme</i>	140	1	11	13	5	
▶ <i>Orthotrichum pallens</i>	840	1	19	44	3	c.fr.
▶ <i>Tortula virescens</i>	840	1	20	42	4	
<i>Frullania dilatata</i>	119	1	3	40	3	R, B
Relevé 25		1				
<i>Orthotrichum</i> sp.	87	1	3	29	2	
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	189	1	17	11	2	PN
<i>Tortula ruralis</i>	14	1	1	14	4	
Relevé 27		10				
▶ <i>Bryum argenteum</i>	31	1	1	31	5	
▶ <i>Bryum</i> sp.	32	1	1	32	3	
<i>Bryum</i> cf. <i>caespiticium</i>	60	1	2	30	4	
<i>Bryum flaccidum</i>	197	1	6	33	4	

	Surf.	CR	NC	T	Vit.	Remarques
<i>Hypnum cupressiforme</i>	96157	6	57	1687	2	
▶ <i>Orthotrichum lyellii</i>	171	1	5	34	2	
▶ <i>Tortula</i> sp.	170	1	5	34	2	
<i>Pylaisia polyantha</i>	414	1	3	138	5	
▶ <i>Tortula virescens</i>	1253	1	8	157	5	
▶ <i>Bryum</i> sp.	1254	1	8	157	5	
<i>Zygodon</i> sp.	45	1	4	11	3	
<i>Frullania dilatata</i>	73097	5	133	550	4	R, V, B
Relevé 28		8				
<i>Bryum capillare</i>	3108	1	1	3108	2	
<i>Orthotrichum affine</i>	75750	6	321	236	3	c.fr.
<i>Orthotrichum lyellii</i>	568	1	26	22	2	
<i>Orthotrichum striatum</i>	2543	1	1	2543	1	c.fr.
<i>Pylaisia polyantha</i>	2027	1	2	1014	2	
<i>Tortula papillosa</i>	373	1	3	124	2	
<i>Tortula virescens</i>	1444	1	19	76	5	
▶ <i>Orthotrichum lyellii</i>	319	1	7	46	3	
▶ <i>Tortula papillosa</i>	318	1	7	45	3	
<i>Frullania dilatata</i>	19512	2	14	1394	4	R, V, B
Relevé 30		2				
<i>Amblystegium serpens</i>	4308	1	10	431	2	
<i>Orthotrichum affine</i>	5140	1	44	117	2	c.fr.
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	8873	1	133	67	2	c.fr.
<i>Platygyrium repens</i>	4704	1	32	147	5	
<i>Frullania dilatata</i>	2359	1	17	139	3	
Relevé 31		1				
<i>Orthotrichum affine</i>	470	1	10	47	4	c.fr.
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	111	1	8	14	5	c.fr.
<i>Orthotrichum striatum</i>	901	1	7	129	5	c.fr.
<i>Orthotrichum</i> sp.	29	1	1	29	5	
<i>Tortula papillosa</i>	891	1	16	56	2	
Relevé 32 (relevé de référence)		27				
<i>Leucodon sciuroides</i>	453086	27	1	453086	5	
<i>Orthotrichum lyellii</i>	5528	1	6	921	5	
<i>Frullania dilatata</i>	2076	1	10	208	4	
<i>Porella platyphylla</i>	495	1	1	495	5	
Relevé 33 (relevé de référence)		100				
<i>Anomodon viticulosus</i>	48864	4	17	2874	2	
<i>Leucodon sciuroides</i>	1446113	97	1	1446113	2	
<i>Orthotrichum lyellii</i>	4024	1	4	1006	5	
<i>Zygodon viridissimus</i>	670	1	5	134	3	
<i>Frullania dilatata</i>	2581	1	5	516	2	
<i>Porella platyphylla</i>	7838	1	42	187	2	
<i>Radula complanata</i>	301	1	4	75	5	
Relevé 34		1				
<i>Hypnum cupressiforme</i>	27	1	1	27	5	
<i>Orthotrichum affine</i>	90	1	1	90	5	c.fr.
<i>Orthotrichum</i> sp.	151	1	10	15	2	
Relevé 35		1				
<i>Orthotrichum lyellii</i>	18	1	3	6	5	
<i>Tortula virescens</i>	16	1	1	16	5	
Relevé 37		1				
<i>Orthotrichum affine</i>	190	1	1	190	4	c.fr.
<i>Orthotrichum lyellii</i>	606	1	11	55	5	
<i>Orthotrichum</i> sp.	20	1	1	20	5	

	Surf.	CR	NC	T	Vit.	Remarques
<i>Tortula papillosa</i>	50	1	4	13	1	
<i>Frullania dilatata</i>	62	1	2	31	5	
Relevé 38		1				
<i>Orthotrichum</i> sp.	103	1	6	17	4	
<i>Frullania dilatata</i>	183	1	2	92	2	
Relevé 39		4				
<i>Leucodon sciuroides</i>	33552	4	14	2397	4	
<i>Orthotrichum lyellii</i>	1882	1	24	78	5	
<i>Tortula papillosa</i>	5537	1	36	154	2	

Résultats des relevés

Les résultats des relevés sont donnés dans le tableau 2 ci-dessus. Pour chaque espèce sont indiqués: sa surface, sa catégorie de recouvrement, le nombre de colonies et leur taille moyenne, ainsi que sa vitalité. Un résumé de la répartition des espèces se trouve dans le tableau 3 ci-après.

Espèce	Q	Fréquence dans la zone					Total
		I	II	III	IV	V	
<i>Frullania dilatata</i>	4.4		3	4	3	1	13
<i>Porella platyphylla</i>	4.5			Relevés de référence			2
<i>Radula complanata</i>	6			Relevés de référence			2
<i>Amblystegium serpens</i> ...	4		1				1
<i>Anomodon viticulosus</i> ...	6			Relevé de référence			1
<i>Bryum argenteum</i>	4.8	2	1	1	1		5
<i>Bryum capillare</i>	7				1		1
<i>Bryum</i> cf. <i>caespiticium</i> ..	5.5	1			1		2
<i>Bryum flaccidum</i>	6.5	1			1		2
<i>Bryum</i> sp.	5.3	2			1		3
<i>Ceratodon purpureus</i>	3		1				1
<i>Dicranoweisia cirrata</i> ...	9			1			1
<i>Hypnum cupressiforme</i> ..	4.3			3	2	1	6
<i>Leucodon sciuroides</i>	5			2	1		5
<i>Orthotrichum affine</i>	4.3		2	3	1	1	8
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	2.6	4	3	4			11
<i>Orthotrichum lyellii</i>	4	1		6	3	1	13
<i>Orthotrichum pallens</i>	3				1		1
<i>Orthotrichum pumilum</i> ..	6				1		1
<i>Orthotrichum striatum</i> ...	5.5			2	1		3
<i>Orthotrichum</i> sp.	3.4	1	1	4		2	8
<i>Platygyrium repens</i>	4		1				1
<i>Pvlaisia polyantha</i>	5.4	1		2	2		5
<i>Tortula laevipila</i>	5		1	1			2
<i>Tortula papillosa</i>	4.4			7	2		9
<i>Tortula ruralis</i>	3		1	1			2
<i>Tortula virescens</i>	4	1	1	2	3	1	8
<i>Tortula</i> sp.	7				1		1
<i>Zygodon viridissimus</i>	6		Relevé de référence				1
<i>Zygodon</i> sp.	10				1		1

Tableau 3. — Résumé de la répartition des espèces et de leur indice écologique (Q). Plus une espèce est tolérante à la pollution, plus son indice écologique est petit. Les zones sont celles définies par TURIAN & DESBAUMES (1975). Total: fréquence totale dans toutes les zones et dans les relevés de référence.

Commentaires sur la répartition des espèces

On aurait pu s'attendre à ce que les espèces résistantes à la pollution soient rencontrées fréquemment. En fait, parmi les espèces considérées comme résistantes, il n'y a que *Frullania dilatata* (L.) Dum. et *Orthotrichum affine* Brid. qui soient bien représentées. *Dicranoweisia cirrata* (Hedw.) Milde, *Bryum capillare* Hedw. et *Bryum argenteum* Hedw. ne sont trouvées que sur peu de phorophytes. DÜLL (1987) considère *O. affine* comme l'espèce du genre la plus résistante à la pollution, mais à Genève cela ne semble pas être le cas car il est absent de la zone la plus polluée où *O. lyellii* Hook. & Tayl. et *O. diaphanum* Brid. sont présents. Dans le cas de *B. argenteum*, il faut aussi prendre en considération le fait qu'il s'agit d'une espèce plutôt humicole qui ne pousse généralement pas sur les arbres.

De façon générale, on remarque que les espèces préférant les stations bien éclairées, comme *Bryum argenteum* Hedw. et *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., ne sont que peu représentées. *Frullania dilatata* a été trouvé souvent mais, dans la majorité des colonies, les anthocyanes ne sont pas développées, ce qui leur donne une couleur verte. Selon DÜLL (1987), ceci est caractéristique des stations ombragées.

Bryosociologie des relevés

Pour mettre en évidence d'éventuelles similitudes entre les relevés, une analyse de Czekanowski a été faite. La similitude a été calculée selon la formule de Jaccard sur les relevés pris deux à deux:

$$\text{similitude} = Nab / (Na + Nb - Nab)$$

où Na et Nb sont le nombre d'espèces des relevés a et b respectivement, Nab le nombre d'espèces communes aux deux relevés. Dans la comparaison des relevés, seul l'absence/présence des espèces a été prise en considération. La dominance des espèces n'a pas été prise en compte car dans la majorité des cas les espèces sont présentes en trop faible quantité (moins de 1%) et sans qu'aucune ne soit significativement dominante. Le tableau phytosociologique des relevés se trouve dans le tableau 4.

Il a été possible de mettre en évidence quatre paires de relevés ayant une similitude supérieure à 50% (4-34; 12-22; 16-37; 21-28). Vingt paires de relevés ont une similitude comprise entre 40 et 50%. Trente-huit paires de relevés ont une similitude entre 30 et 40%. S'il y a de fortes similitudes entre certains relevés comparés deux à deux, il n'y a cependant pas de grandes ressemblances si on compare plus de deux relevés à la fois.

Tous les relevés seraient une forme appauvrie de l'alliance du *Tortulion laevipilae* Ochsner 1928, et il n'est pas possible de les attribuer à une association.

Il convient de remarquer que les relevés témoins (relevés 32 et 33) ne peuvent, eux non plus, être attribués à une association. L'affirmation d'OCHSNER (1928) sur la pauvreté des associations du plateau suisse semble ici confirmée.

En ce qui concerne la correspondance entre les différentes espèces, aucune tendance particulière n'est remarquée. Le nombre d'occurrence entre chaque espèce est indiqué dans le tableau 5.

Relation des données floristiques avec la pollution

Les informations obtenues sur un seul arbre ne sont représentatives que de l'endroit précis où se trouve cet arbre, et ne permettent pas d'avoir une vision plus générale de la situation, même dans les alentours immédiats. Il faut donc faire une moyenne sur plusieurs arbres. Le problème est de savoir combien d'arbres il faut prendre et comment

Relevé n°	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	27	28	30	31	34	35	37	38	39	32	33	
<i>Frullania dilatata</i>	1					1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	2	1									
<i>Orthotrichum lyellii</i>				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	1	1					1	2	1			1	1	1	1	1	1	1	1			1	1								
<i>Tortula virescens</i>			1		1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Tortula papillosa</i>										1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Orthotrichum affine</i>						1							1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Hypnum cupressiforme</i>	1					1					1		1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Pylaisia polyantha</i>					1					1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Bryum argenteum</i>																															
<i>Leucodon sciuroides</i>																															
<i>Orthotrichum striatum</i>																						1	1								
<i>Bryum cf. caespiticium</i>																						1	1								
<i>Bryum flaccidum</i>					1																	1	1								
<i>Tortula ruralis</i>																															
<i>Tortula laevipila</i>																															
<i>Orthotrichum pallens</i>																															
<i>Orthotrichum pumilum</i>																															
<i>Bryum capillare</i>																															
<i>Ceratodon purpureus</i>	1																														
<i>Dicranoweisia cirrata</i>																															
<i>Zygodon virridissimus</i>																															
<i>Anomodon viticulosus</i>																															
<i>Platygyrium repens</i>																															
<i>Amblystegium serpens</i>																															
<i>Orthotrichum sp.</i>	1	1																													
<i>Bryum sp.</i>																															
<i>Zygodon sp.</i>																															
<i>Tortula sp.</i>																															
<i>Porella platyphyllo</i>																															
<i>Radula complanata</i>																															

Tableau 4. — Tableau phytosociologique des relevés. Les chiffres dans le tableau indiquent la catégorie de recouvrement de chaque espèce.

doivent-ils être répartis? Une relation entre divers paramètres et la qualité de l'air a pu être mise en évidence en utilisant deux regroupements différents: selon les zones de concentration en SO_2 de TURIAN & DESBAUMES (1975) (voir fig. 1) et selon des mailles de 1 kilomètre carré.

— *Relation avec les zones de concentration en SO_2 :*

Pour chaque zone, on calcule le pourcentage d'arbres avec des bryophytes sur le tronc (à une hauteur comprise entre 0.5 et 1.5 m), le nombre d'espèces dans la zone, le nombre moyen d'espèces par arbre (nombre d'espèces dans la zone divisé par le nombre total d'arbres), les moyennes des valeurs Q (indice écologique). La moyenne des valeurs Q est calculée en additionnant les sommes des Q des espèces de chaque arbre puis en divisant le nombre total d'arbres dans la zone.

Les résultats obtenus pour chaque zone sont les suivants:

Zone	I	II	III	IV	V
Arbres avec des bryophytes (%)	13	17	50	44	50
Nombre total d'espèces	9	11	16	17	6
Nombre moyen d'espèces par arbre	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8
Moyenne des valeurs Q	1.3	2.5	9.6	15.3	4.6

Comme on pouvait s'y attendre, en allant de la zone I à la zone V, on trouve une augmentation du nombre d'arbres avec des bryophytes, et du nombre moyen d'espèces par phorophyte. Les zones I et II donnent des valeurs semblables, alors que les zones III à V sont comparables entre elles. Le nombre total d'espèces et la moyenne des valeurs Q augmentent de la zone I à la zone IV. L'augmentation de la moyenne des indices écologiques n'est pas surprenante car un indice écologique petit signifie une bonne tolérance à la pollution.

— *Relation avec des mailles:*

Un premier essai avait été fait en utilisant des petites mailles (0.25 et 0.5 km²), mais à cause du trop petit nombre d'arbres par maille, il n'a pas été possible de mettre en évidence différentes zones selon la qualité d'air. De meilleurs résultats sont obtenus avec des mailles d'un kilomètre carré, car la moyenne est alors faite sur un plus grand nombre d'arbres. Seules les mailles ayant au moins deux phorophytes ont été prises en compte.

En calculant, de la même façon que ci-dessus, le nombre moyen d'espèces par arbre, deux régions apparaissent clairement: une région au centre ville et une région plus à l'extérieur (fig. 3). La région la plus au centre correspond aux zones I et II de Turian & Desbaumes.

Deux adaptations de la formule "classique" de l'indice de pureté atmosphérique (IAP, en anglais) de LEBLANC & DE SLOOVER (1970) ont été utilisées:

1. $IAP_1 = \Sigma (R * Q) / \text{nombre d'arbres dans la maille};$
2. $IAP_2 = \Sigma (R * Q * V) / \text{nombre d'arbres dans la maille};$

où R est la catégorie de recouvrement de l'espèce, Q son indice écologique et V sa vitalité. Comme le nombre d'arbres varie d'une maille à l'autre, une moyenne est faite sur tous les arbres de la maille, qu'ils portent ou non des bryophytes.

Ces deux formules permettent chacune de délimiter trois zones (fig. 4 et 5). La limite de la zone la plus centrale est la même que celle obtenue en calculant le nombre moyen d'espèces par arbre. Les deux zones externes correspondent aux zones III à V de Turian & Desbaumes.

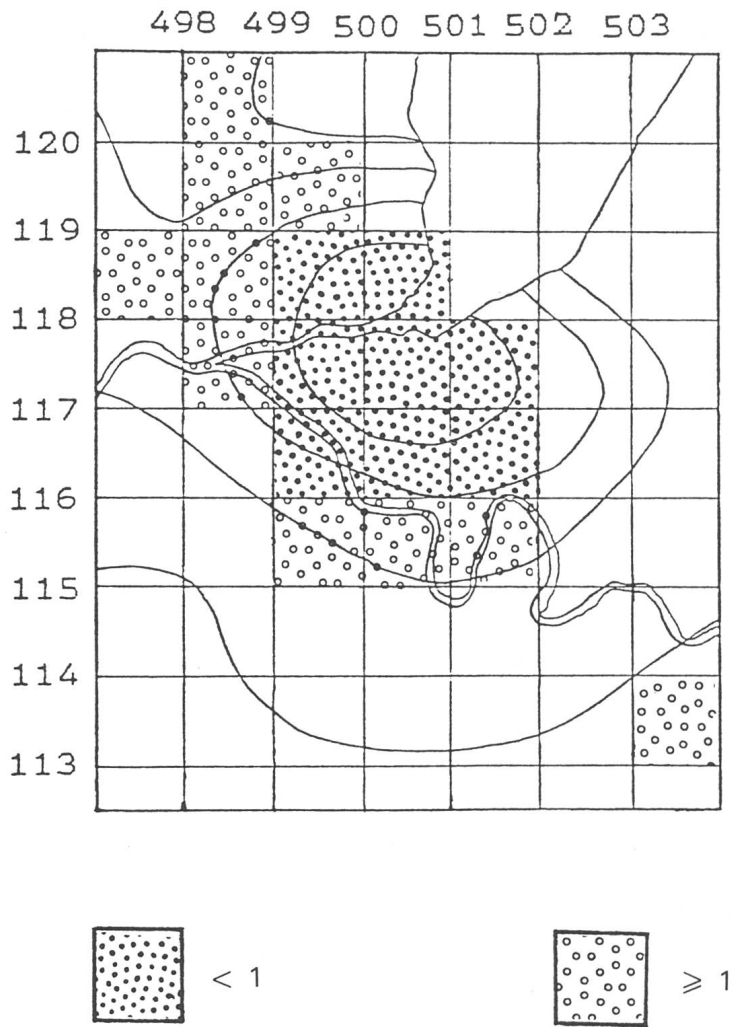


Fig. 3. — Nombre moyen d'espèces par arbre.

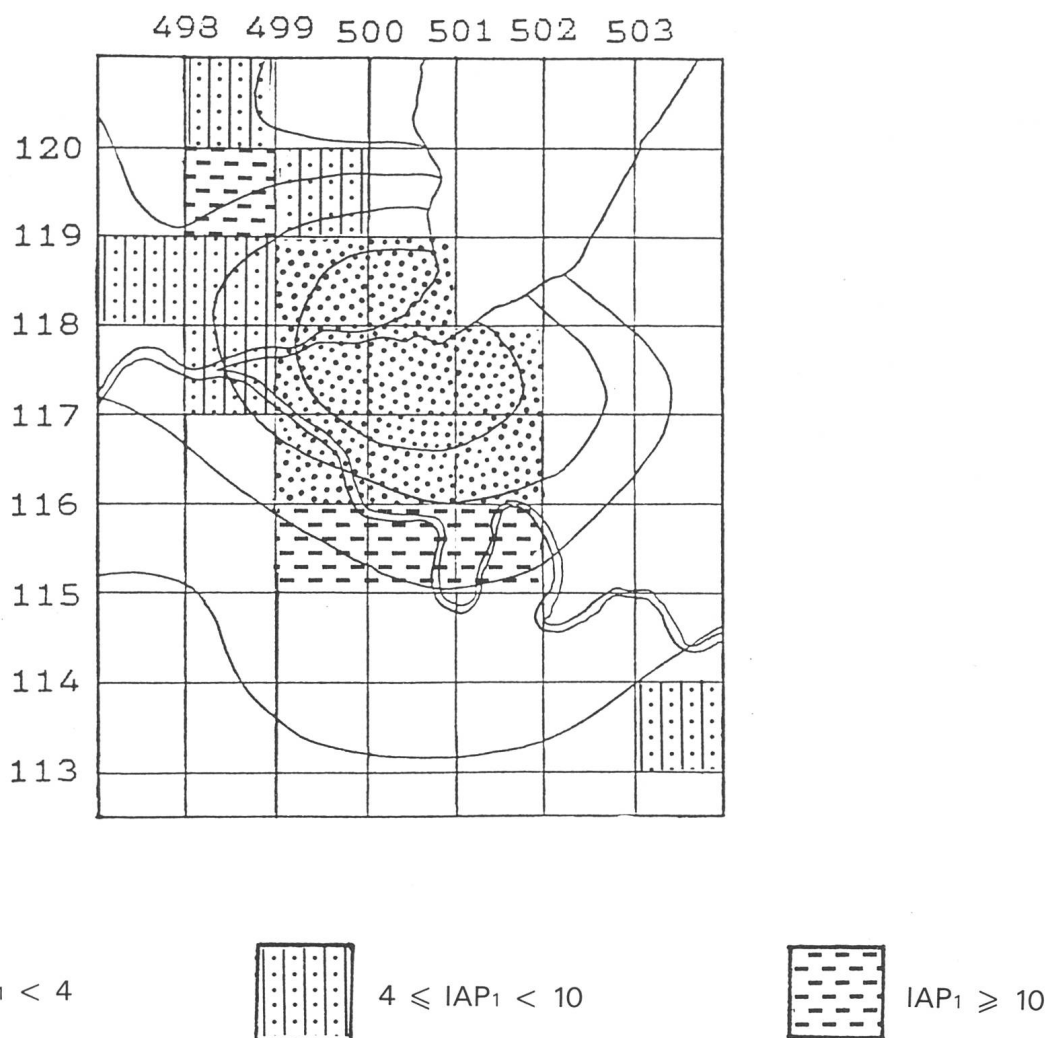
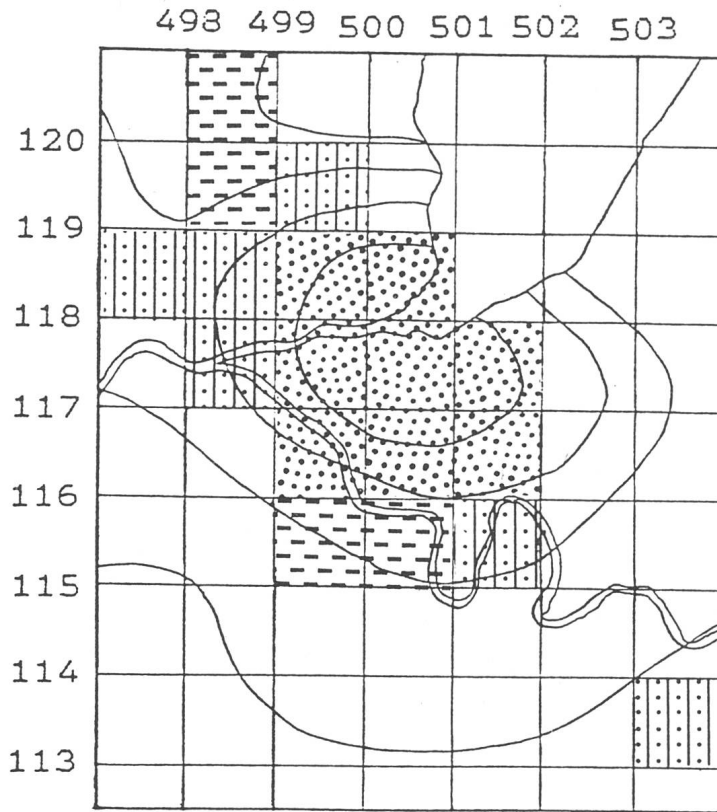
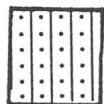


Fig. 4. — $IAP_1 = \Sigma (R * Q) / \text{nombre d'arbres dans la maille}$.



 $IAP_2 < 15$

 $15 \leq IAP_2 < 30$

 $IAP_2 \geq 30$

Fig. 5. — $IAP_2 = \Sigma (R * Q * V) / \text{nombre d'arbres dans la maille}$.

Conclusions

Par l'utilisation de la méthode de l'indice de pureté atmosphérique (IAP) ou par la richesse floristique de la bryoflore, plusieurs zones ont pu être mises en évidence selon la qualité de l'air dans le canton de Genève. La méthode de l'IAP permet de délimiter trois zones, alors qu'en utilisant uniquement la richesse floristique on ne délimite que deux zones. Cependant, dans tous les cas, on met en évidence une zone centrale et une zone externe. Une correspondance plus précise entre les zones définies par les IAP et les concentrations de SO₂ n'est pas possible. Etant donné le faible gradient des concentrations de dioxyde de soufre, il n'est pas très étonnant que les bryophytes ne permettent pas une distinction plus nette entre les différentes zones décrites par TURIAN & DESBAUMES (1975). On peut penser que la prise en considération, en plus du SO₂, d'autres polluants, comme par exemple les oxydes d'azote, aurait permis une meilleure corrélation avec les données floristiques.

Bien que la pollution atmosphérique ait une influence certaine sur les bryophytes du canton de Genève, elle n'est sûrement pas le seul facteur responsable de leur répartition. Dans une étude faite à Aachen (Allemagne) (RABE, 1981), il a été constaté que, dans des régions qui n'ont pas une trop forte pollution, des facteurs tels que le type de sol sur lequel pousse le phorophyte (matière nutritive du sol, son humidité, son pH, etc.) influencent sa végétation épyphytique lichénique. D'autres facteurs pouvant jouer un rôle dans la répartition d'une espèce sont les microclimats ainsi que la présence d'autres espèces (concurrence éventuelle). Si ces facteurs ont une influence sur les lichens épiphytiques, il est logique de penser qu'ils puissent aussi avoir une influence sur les bryophytes.

Pour approfondir les résultats obtenus dans cette étude, il faudrait, d'une part, avoir une meilleure connaissance des microclimats de la ville et du canton de Genève, et d'autre part, augmenter le nombre de phorophytes observés. Une étude floristique des bryophytes poussant sur d'autres substrats que les écorces pourrait également apporter des informations utiles.

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier ici chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué, d'une façon ou d'une autre, à ce travail.

En particulier, MM. O. Monthoux et P. Clerc pour leurs remarques sur la méthode utilisée, M. le Prof. G. Turian pour ses conseils et les informations données, M. R. Beer du Service des espaces verts et de l'environnement de la Ville de Genève (SEVE) pour l'autorisation de récolte d'échantillons dans les parcs de Genève, Madame E. Maier pour ses conseils techniques pour l'identification des bryophytes, les dessinatrices des Conservatoire et Jardin botaniques pour les conseils techniques sur la présentation des diverses cartes ainsi que les bibliothécaires pour leur aide dans les recherches bibliographiques, M. F. Cupelin du Service d'Écotoxicologie pour les informations sur la pollution à Genève, MM. K. Todorov, A. Jacot-Descombes et T. Pun du Centre Universitaire d'Informatique pour l'élaboration du programme ayant servi à mesurer les surfaces colonisées et la mise à disposition de l'infrastructure informatique. Finalement, j'aimerais remercier tout particulièrement Madame P. Geissler, MM. les Prof. R. Spichiger et G. Turian d'avoir accepté la direction de ce travail ainsi que pour les nombreuses facilités mises à ma disposition. J'aimerais remercier Madame P. Geissler également pour les nombreuses identifications de bryophytes, ainsi que pour ses remarques très constructives sur la rédaction du texte.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Annuaire statistique du canton de Genève* (1988). Service cantonal de statistique Genève, Département de l'économie publique. Genève.
- ANDO, H. & A. MATSUO (1984). Applied bryology. *Adv. Bryol.* 2: 169-181.
- ARNOLD, F. (1891-1901). Zur Lichenflora von München. *Ber. Bayer. Bot. Ges.* 1891: 1-147; 1892: 1-76; 1897: 1-45; 1898: 1-82; 1900: 1-100; 1901: 1-24.

- BLATTNER, M. & M. RITTER (1985). *In*: Basler Natur-Atlas 1: 75-79. Basler Naturschutz, Basel.
- BOESCH, Ph. & W. HAERDI (1984). Mesures du plomb et du brome contenus dans les particules de l'air de Genève (1981-1984). *Pollution atmosphérique, avril-juin 1984*: 90-100.
- DE SLOOVER, J. & F. LEBLANC (1970). Pollutions atmosphériques et fertilité chez les mousses et chez les lichens épiphytiques. *Bull. Acad. Soc. Lorraine Sci.* 9(1): 82-90.
- DÜLL, R. (1987). *Exkursions-Taschenbuch der Moose*. IDH-Verlag für Bryologie und Ökologie, Rheurdt.
- GEISSLER, P. & E. URMI (1984). *Liste der Moose der Schweiz und ihrer Grenzgebiete*. Non publié.
- GILBERT, O. L. (1968). Bryophytes as indicators of air pollution in the Tyne Valley. *New Phytol.* 67: 15-30.
- GILBERT, O. L. (1970a). Further studies on the effect of sulphur dioxide on lichens and bryophytes. *New Phytol.* 69: 605-627.
- GILBERT, O. L. (1970b). A biological scale for the estimation of sulfur dioxide. *New Phytol.* 69: 629-634.
- HAWKSWORTH, D. L. & F. ROSE (1970). Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227: 145-148.
- HERZIG, R., L. LIEBENDÖRFER & M. URECH (1985). *Flechten als biologische Indikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz*. Diplomarbeit, Institut de systématique-géobotanique de l'Université de Berne, Suisse.
- HERTZ, J., I. SCHMID & L. THOENI (1984). Heavy metals in mosses. *J. Environm. Anal. Chem.* 17: 1-12.
- HORWOOD, A. R. (1907). On the disappearance of cryptogamic plants. *J. Bot.* 45: 334-339.
- KISS, T. (1987). Regressive succession induced by acid rain in cryptogamic communities inhabiting Juglans bark. *Symp. Biol. Hung.* 35: 865-882.
- KOZIOL, M. J., F. R. WHATLEY & J. B. SHELVEY (1988). An integrated view of the effects of gaseous air pollutants on plant carbohydrate metabolism. *In: Air pollution and plant metabolism*, Elsevier Applied Science.
- LEBLANC, F. & J. DE SLOOVER (1970). Relation between industrialization and the growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canad. J. Bot.* 48: 1485-1496.
- LEBLANC, F. & D. N. RAO (1966). Réactions de quelques lichens et mousses épiphytiques à l'anhydride sulfureux dans la région de Sudbury, Ontario. *Bryologist* 69: 338-346.
- LEBLANC, F. & D. N. RAO (1973a). Evaluation of the pollution and the drought hypotheses in relation to lichens and bryophytes in urban environments. *Bryologist* 76: 1-19.
- LEBLANC, F. & D. N. RAO (1973b). Effects of sulphur dioxide on lichen and moss transplants. *Ecology* 54: 612-617.
- LEBLANC, F. & D. N. RAO (1974). A review of the literature on bryophytes with respect to air pollution. *Bull. Soc. Bot. France* 121: 237-255.
- MUHLE, H. (1984). Moose als Bioindikatoren. *Adv. Bryol.* 2: 65-89.
- NYLANDER, M. W. (1866). Les lichens du jardin du Luxembourg. *Bull. Soc. Bot. France* 13: 364-372.
- OCHSNER, F. (1928). Studien über die Epiphytenvegetation der Schweiz. *Ber. St.-Gall. Naturwiss. Ges.* 63(2): 1-108.
- Ordonnance sur la protection de l'air (décembre 1985)*. Chancellerie fédérale, Berne.
- RABE, R. (1981). Zur Problematik der Interpretation von Flechten/Luftverunreinigungs-Karten. *Verh. Ges. Ökol. (Berlin 1980)* 9: 241-254.
- SÉRGIO, C. & M. SIM-SIM (1985). Estúdio da poluição atmosférica no Estuário do Tejo. A vegetação epifítica como bioindicadora. *Portug. Acta Biol. (B)* 14: 213-244.
- TAODA, H. (1972). Mapping of atmospheric pollution in Tokyo based upon epiphytic bryophytes. *Jap. J. Ecol.* 22: 125-133.
- TAODA, H., H. KATSURAYAMA & K. KOBAYASHI (1981). Epiphytic vegetation of Ohtsu City, Japan. *Hikobia Suppl.* 1: 197-204.
- TURIAN, G. (1985). Lichens indicateurs de la pollution atmosphérique: bilan genevois 10 ans après leur cartographie. *Boll. Soc. Ticin. Sci. Nat.* 73: 81-88.
- TURIAN, G. & P. DESBAUMES (1975). Cartographie de quelques lichens indicateurs de la pollution atmosphérique à Genève. *Saussurea* 6: 317-324.
- VAN HALUWYN, C. & M. LEROND (1988). Lichénosociologie et qualité de l'air: protocole opératoire et limites. *Cryptog. Bryol. Lichénol.* 9: 313-336.

- VARESCHI, V. (1936). Die Epiphytenvegetation von Zürich (Epiphytenstudien II). *Ber. Schweiz. Bot. Ges.* 46: 445-488.
- VARESCHI, V. (1953). La influencia de los bosques y parques sobre el aire de la ciudad de Caracas. *Acta Ci. Venez.* 4(3): 89-95.
- WILL-WOLF, S. (1988). Quantitative approaches to air quality studies. *Bibl. Lichenol.* 30: 109-140.
- WILSON, W. (1900). The great smoke-cloud of the north of England and its influence on plants. *Brit. Assoc. Adv. Sci.*: 930-931.
- WINNER, W. E. & J. D. BEWLEY (1983). Photosynthesis and respiration of feather mosses fumigated at different hydration levels with SO₂. *Canad. J. Bot.* 61: 1456-1461.
- ZÜST, S. (1977). Die Epiphytenvegetation im Raume Zürich als Indikator der Umweltbelastung. *Veröff. Geobot. Inst. ETH Zürich* 62.