

Analyse spatio-temporelle des lichens comme bio-indicateurs de la qualité de l'air dans la région de Québec : 1985-1986 à 2016

Gérard Denis, Catherine Bergeron, Romy Jacob-Racine, Michaël Leblanc and Claude Lavoie

Volume 144, Number 2, Fall 2020

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1071605ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1071605ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

1929-3208 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Denis, G., Bergeron, C., Jacob-Racine, R., Leblanc, M. & Lavoie, C. (2020). Analyse spatio-temporelle des lichens comme bio-indicateurs de la qualité de l'air dans la région de Québec : 1985-1986 à 2016. *Le Naturaliste canadien*, 144(2), 7–14. <https://doi.org/10.7202/1071605ar>

Article abstract

Lichens are highly sensitive to air pollution and are often absent from the central areas of major urban agglomerations ("lichen deserts"). We compared the cover of corticolous lichen species recorded on trees surveyed at 105 sampling stations in Québec City (Québec, Canada) in 1985 and 1986, to that found at the same locations in 2016. Total lichen cover increased at 80% of the sampling stations by an average of 86%, for all species and all stations combined. *Candelaria concolor* showed the greatest increase in cover (+91%). By contrast, the 3 most pollution sensitive species present, *Evernia mesomorpha*, *Flavoparmelia caperata* and *Punctelia rudecta*, showed the smallest increases. Nevertheless, *F. caperata* was detected at substantially more stations in 2016 (34) than during the study conducted in 1985 and 1986 (21), including in the more central urban areas. The lichen desert observed in the more urbanized parts of Québec City in 1985 and 1986 was no longer present in 2016. This increase in lichen cover is consistent with the marked decrease in sulphur dioxide levels recorded in Québec City since the early 1990s.

Analyse spatio-temporelle des lichens comme bio-indicateurs de la qualité de l'air dans la région de Québec: 1985-1986 à 2016

Gérard Denis, Catherine Bergeron, Romy Jacob-Racine, Michaël Leblanc et Claude Lavoie

Résumé

Les lichens, très sensibles à la pollution de l'air, sont souvent absents des quartiers centraux des grandes agglomérations urbaines (déserts lichéniques). Nous avons comparé le couvert d'espèces de lichens corticoles sur des arbres inventoriés dans 105 stations d'échantillonnage dans la ville de Québec en 1985 et 1986 à celui recensé aux mêmes endroits en 2016. Le couvert lichénique total a augmenté dans 80 % des stations revisitées en 2016, avec une hausse moyenne de 86 %, toutes espèces et toutes stations confondues. *Candelaria concolor* est l'espèce de lichen dont le couvert a connu la plus forte hausse (+91 %), alors que les 3 espèces les plus sensibles à la pollution (*Evernia mesomorpha*, *Flavoparmelia caperata* et *Punctelia rudecta*) sont celles avec les moins fortes hausses. On a néanmoins détecté la présence de *F. caperata* dans bien plus de stations en 2016 (34) qu'en 1985 et 1986 (21), y compris dans les quartiers centraux. Le désert lichénique observé dans les quartiers centraux de Québec en 1985 et 1986 a totalement disparu en 2016. L'augmentation du couvert lichénique à Québec est cohérente avec la diminution notable des niveaux de dioxyde de soufre enregistrés dans la ville depuis le début des années 1990.

MOTS-CLÉS : désert lichénique, dioxyde de soufre, *Flavoparmelia caperata*, lichen, ville de Québec

Abstract

Lichens are highly sensitive to air pollution and are often absent from the central areas of major urban agglomerations ("lichen deserts"). We compared the cover of corticolous lichen species recorded on trees surveyed at 105 sampling stations in Québec City (Québec, Canada) in 1985 and 1986, to that found at the same locations in 2016. Total lichen cover increased at 80% of the sampling stations by an average of 86%, for all species and all stations combined. *Candelaria concolor* showed the greatest increase in cover (+91%). By contrast, the 3 most pollution sensitive species present, *Evernia mesomorpha*, *Flavoparmelia caperata* and *Punctelia rudecta*, showed the smallest increases. Nevertheless, *F. caperata* was detected at substantially more stations in 2016 (34) than during the study conducted in 1985 and 1986 (21), including in the more central urban areas. The lichen desert observed in the more urbanized parts of Québec City in 1985 and 1986 was no longer present in 2016. This increase in lichen cover is consistent with the marked decrease in sulphur dioxide levels recorded in Québec City since the early 1990s.

KEYWORDS: *Flavoparmelia caperata*, lichen, lichen desert, Québec City, sulphur dioxide

Introduction

La sensibilité des lichens aux perturbations anthropiques est bien connue. Cette sensibilité peut s'expliquer par le fait qu'ils ne possèdent pas de système racinaire. Ils absorbent l'eau et les contaminants directement par leur thalle qui n'a pas de cuticule, mais qui est plutôt pourvu d'un mucilage qui ne fait pas barrière aux polluants (Conti et Cecchetti, 2001 ; Nimis et collab., 2002). Cette caractéristique des lichens fait en sorte qu'ils sont d'excellents bio-indicateurs de la pollution (Garty, 2001). Cela a été mis en évidence il y a déjà plus de 150 ans par le lichénologue William Nylander, qui a observé la disparition totale des lichens du Jardin du Luxembourg, à Paris, ainsi que la diminution croissante du couvert de lichens corticoles à l'approche des villes, probablement en raison de la pollution de l'air (Nylander, 1866 ; 1896). Depuis, la très grande sensibilité des lichens à la pollution atmosphérique, particulièrement au dioxyde de soufre (SO₂), et leur utilité en tant que bio-indicateurs, ont été largement documentés (Bates et collab., 2001 ; Cislighi et Nimis, 1997 ; Ferry et collab., 1973 ; Lavoie, 2013 ; Seaward, 1993).

Deux méthodes peuvent être utilisées pour évaluer la qualité de l'air avec des lichens (Conti et Cecchetti, 2001 ; Gries, 1996 ; Nimis et collab., 2002 ; Seaward, 1993). La première consiste à mesurer la bioaccumulation, c'est-à-dire à déterminer les concentrations de polluants contenus dans le thalle, sachant

Gérard Denis (M. ATDR) et Michaël Leblanc (M. ATDR) sont aménagistes du territoire, diplômés de l'École supérieure d'aménagement du territoire et de développement régional (ÉSAD) de l'Université Laval et à l'emploi de la Corporation du bassin de la Jacques-Cartier.

Catherine Bergeron (M. ATDR) est aménagiste du territoire, diplômée de l'ÉSAD et à l'emploi de l'Institut de développement durable des Premières Nations du Québec et du Labrador.

Romy Jacob-Racine (M. ATDR) est aménagiste du territoire, diplômée de l'ÉSAD et à l'emploi de la Société des établissements de plein air du Québec, Vice-présidences Exploitation, parcs nationaux et Exploitation, secteur faunique.

Claude Lavoie (Ph. D.) est biologiste et professeur titulaire à l'ÉSAD.
claude.lavoie@esad.ulaval.ca

que ces concentrations sont corrélées avec celles trouvées dans l'air (Andersen et collab., 1978; Conti et Cecchetti, 2001; Sloof et Wolterbeek, 1991). On peut mesurer de cette façon la pollution par l'azote, les dioxines, les furanes, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les métaux lourds, les radionucléides et le soufre (Conti et Cecchetti, 2001; Gombert et collab., 2004). Ces analyses peuvent être effectuées avec des échantillons frais ou avec des spécimens d'herbier (Agnan et collab., 2013; Bozkurt, 2017; Garty, 2001; Lavoie, 2013; Parviainen et collab., 2019; Purvis et collab., 2007; Yatawara et Dayananda, 2019). On peut aussi, par méthode de bio-indication, procéder à l'identification visuelle de la richesse spécifique et du couvert lichénique d'une région (Conti et Cecchetti, 2001; LeBlanc et De Sloover, 1970; Matos et collab., 2019). Comme les lichens réagissent autant à la pollution diffuse (Showman, 1988) qu'à la présence d'une source polluante ponctuelle (Loppi et collab., 2004; Rusu et collab., 2006), cette méthode permet d'évaluer de manière indirecte la qualité de l'air d'un endroit donné. Pour ce faire, on utilise en général des lichens corticoles qui sont plus sensibles à la pollution atmosphérique que les lichens croissants sur un substrat terricole ou minéral (LeBlanc et De Sloover, 1970), et qui sont donc plus susceptibles d'apparaître ou de disparaître selon la qualité de l'air.

L'identification visuelle des différents assemblages d'espèces lichéniques corticoles a permis, par le passé, de détecter des zones urbaines exemptes de lichens, car trop polluées (Purvis et collab., 2003; Seaward, 1993). Ce phénomène de désert lichénique a surtout été observé dans le centre des grandes villes et dans les quartiers industriels, par exemple à Montréal (LeBlanc et De Sloover, 1970). Depuis, la diminution constante de la pollution atmosphérique dans les pays occidentaux, particulièrement celle causée par le SO_2 , a permis aux lichens de recoloniser les déserts de nombreuses villes européennes telles que Londres (Rose et Hawksworth, 1981), Munich (Kandler, 1988), Paris (Seaward et Letrouit-Galinou, 1991) et Rome (Munzi et collab., 2007).

En Amérique du Nord, les études de bio-indication avec lichens sont rares. Il n'y a pas, à notre connaissance, d'étude spatio-temporelle sur ce continent montrant une disparition des déserts lichéniques urbains à la suite des efforts qui ont été faits pour y améliorer la qualité de l'air. On sait toutefois que ces déserts existent, notamment dans les quartiers centraux de la ville de Québec (Canada), une cité de taille moyenne. Cette ville se prête d'ailleurs particulièrement bien à une étude de bio-indication spatio-temporelle avec lichens. Il existe en effet des données historiques, récoltées en 1985 et 1986, sur la couverture des lichens corticoles (Bérubé, 1987). Depuis la récolte de ces données, les concentrations à Québec de SO_2 , un polluant atmosphérique ayant un effet délétère sur le couvert lichénique, ont poursuivi leur baisse amorcée depuis au moins 1976, année au cours de laquelle a commencé la prise des données (Foucreault et collab., 2016).

Nous avons refait l'étude de Bérubé (1987) 30 ans plus tard afin de vérifier s'il existe toujours un désert lichénique dans les quartiers centraux de la ville de Québec. Nous avons émis

l'hypothèse que 1) la couverture lichénique totale a augmenté de manière significative de 1985-1986 à 2016, principalement (quoique pas exclusivement) dans les quartiers centraux, et que 2) même des espèces moins tolérantes à la pollution sont de nos jours présentes dans les quartiers centraux.

Méthodologie

Aire d'étude

Cette étude a été effectuée sur le territoire de la région métropolitaine de Québec, plus particulièrement dans 5 municipalités (L'Ancienne-Lorette, L'Ange-Gardien, Boischatel, Québec et Saint-Augustin-de-Desmaures). Une population de 546 600 habitants s'y répartit sur une superficie totale de 672 km² (Statistique Canada, 2011), sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent, au Québec (figure 1). La température annuelle moyenne de la région est de 4 °C. La température mensuelle moyenne varie entre -13 °C (janvier) et 19 °C (juillet). Les précipitations annuelles totales sont en moyenne de 1 190 mm, dont près de 26 % tombent sous forme de neige (Gouvernement du Canada, 2016). Le centre et le sud-est du territoire sont les secteurs les plus densément urbanisés où se concentrent les activités industrielles et commerciales, situées surtout en bordure des principales infrastructures de transport. Les industries lourdes et polluantes sont néanmoins peu abondantes de nos jours dans la région de Québec; le transport de passagers et de marchandises par route, par voie ferrée ou par voie d'eau est devenu le principal vecteur de pollution atmosphérique (Ville de Québec, 2005).

Inventaire des lichens 1985-1986

En 1985 et 1986, les arbres de 128 stations d'échantillonnage réparties dans l'aire d'étude ont été examinés (Bérubé, 1987) pour déterminer la présence et le couvert de 16 taxons de lichens corticoles. Dans chaque station, les mesures du couvert lichénique ont été prises sur 5 à 10 arbres caducifoliés ne présentant pas de signes évidents de dépérissement. Dix arbres ont été échantillonnés dans 75 % des cas. Les arbres devaient avoir un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) ≥ 25 cm, un tronc exempt de végétation (sans élément faisant obstruction à la vue) et à port vertical sur les 170 premiers cm, question de standardiser les conditions de luminosité et d'écoulement de l'eau sur le tronc. Pour chaque arbre, l'espèce, le DHP, le couvert occupé par chacun des 16 taxons de lichens et le couvert total occupé par tous les lichens ont été notés. Le pourcentage de couvert lichénique a été estimé par observation visuelle du tronc sur l'ensemble du pourtour de l'arbre et à une hauteur de 20 à 170 cm à partir du sol. Cette estimation s'est fait grâce à une échelle semi-quantitative du couvert (0: absence; 1: < 5%; 2: 5-15%; 3: 16-30%; 4: 31-50%; 5: > 50%).

Inventaire des lichens 2016

Sur les 128 stations échantillonnées en 1985 et 1986, 105 ont pu être relocalisées sur le terrain à partir des croquis de localisation fournis par Bérubé (1987); elles ont pu en conséquence être revisitées en 2016. Ce ne sont pas tous les

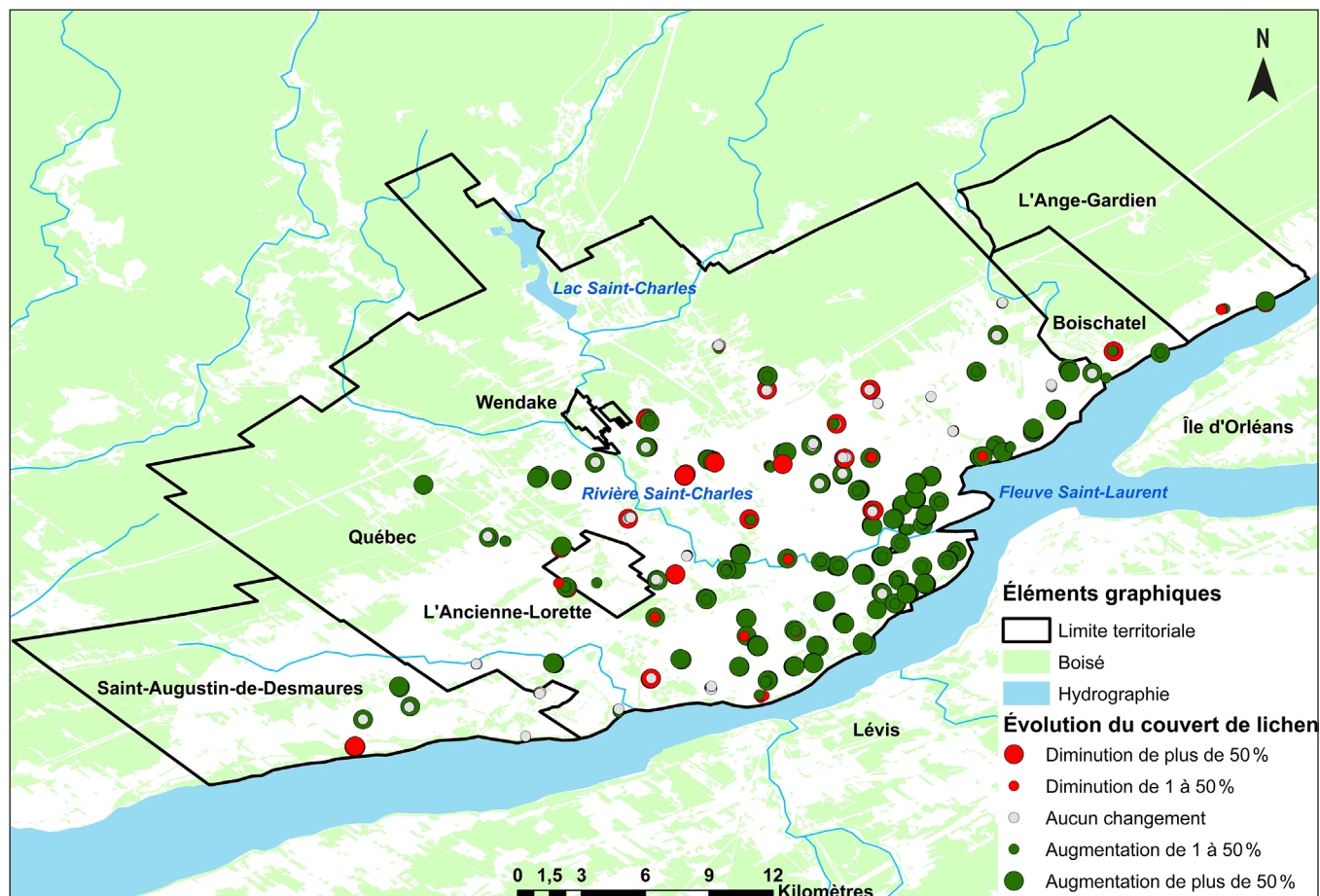


Figure 1. Évolution du couvert total des lichens corticoles (toutes espèces confondues) présents sur les arbres de 105 stations d'échantillonnage de la région métropolitaine de Québec de 1985-1986 à 2016.

16 taxons lichéniques qui ont été inventoriés en 2016. L'effort d'échantillonnage s'est plutôt concentré (présence et couvert) sur les 5 espèces les plus abondantes et les plus faciles à identifier à l'œil (figure 2). Cette approche, tout en simplifiant le travail, a permis de voir si la méthode serait facilement utilisable par des professionnels, par exemple des urbanistes, désireux de documenter l'état de la pollution urbaine, mais sans formation avancée en botanique – c'était le cas des 4 premiers auteurs de cet article. Il s'agissait d'espèces sensibles (*Evernia mesomorpha*, *Flavoparmelia caperata*, *Punctelia rudecta*) ou tolérantes (*Candelaria concolor*, *Xanthomendoza fallax*) à la pollution acide, particulièrement celle causée par les émissions de soufre et d'azote (Rocha et collab., 2019; Will-Wolf et collab., 2015a).

Pour le reste, l'échantillonnage des stations s'est fait de la même façon qu'en 1985 et 1986 (du 26 septembre au 30 octobre 2016), à la nuance près de quelques différences techniques. Il était tout d'abord impossible de recenser les mêmes individus (arbres) qu'en 1985 et 1986, car les indications de Bérubé (1987) n'étaient pas assez précises pour le faire. Plusieurs de ces arbres sont aussi depuis disparus. En conséquence, un repère physique sur le territoire de la station (immeuble, adresse civique, intersection de rues, etc.) était

défini à partir des notes de terrain prises en 1985 ou 1986. Ensuite l'arbre le plus près du repère était assigné comme arbre de référence pour être échantillonné. Les 9 autres arbres situés le plus près de l'arbre de référence étaient également échantillonnés, pour un total de 10 arbres par station (sans exception). Cette stratégie permettait de ne pas introduire de biais (préférences) dans la sélection des arbres d'une station. Les arbres échantillonnés, qui ont été identifiés au genre, avaient les mêmes caractéristiques qu'en 1985 et 1986. L'estimation du couvert de lichens (les 5 espèces et le couvert total de toutes les espèces) a été faite par 2 observateurs avec la même échelle semi-quantitative. Des photographies de chaque arbre et de son environnement immédiat ont été prises ainsi que ses coordonnées géographiques à l'aide d'un système de positionnement géographique. Pour comparer les données de 2016 avec celles de 1985 et 1986, la médiane des classes de couvert a été utilisée pour chaque arbre, que ce soit pour une espèce particulière ou pour le couvert total. La sommation des médianes des 10 arbres inventoriés a ensuite été faite pour chaque station d'échantillonnage. Dans le cas où 5 arbres avaient été échantillonnés en 1985 ou 1986, les données de ces arbres ont été comparées avec celles de 5 des 10 arbres échantillonnés en 2016 (sélectionnés au hasard). Dans un cas

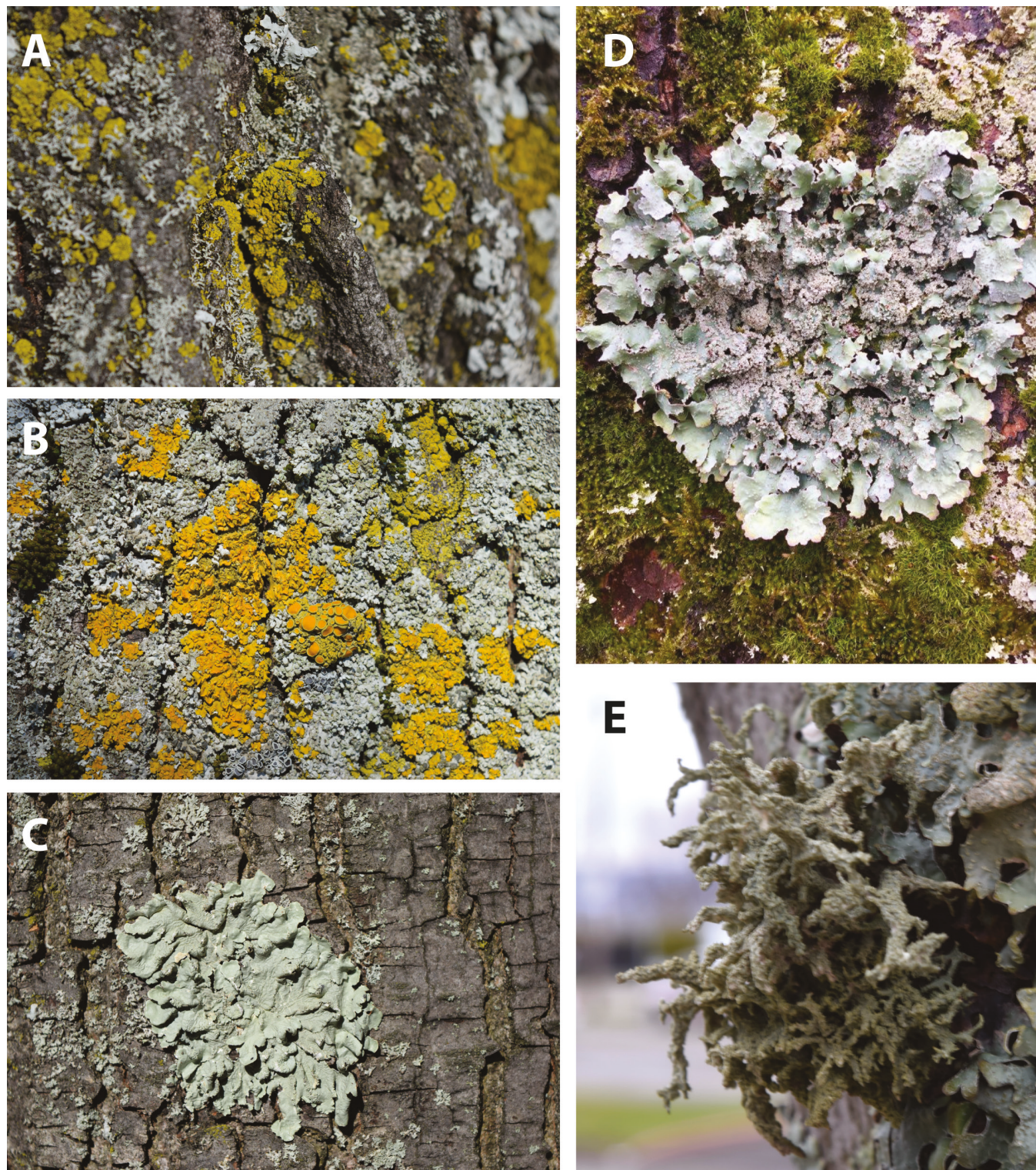


Figure 2. Les 5 espèces de lichens corticoles sélectionnées en 2016 pour l'échantillonnage de leur couvert sur des arbres dans la région métropolitaine de Québec: A) *Candelaria concolor*, B) *Xanthomendoza fallax*, C) *Flavoparmelia caperata*, D) *Punctelia rudecta* et E) *Evernia mesomorpha*.

(1985 ou 1986) comme dans l'autre (2016), elles ont ensuite été standardisées pour 10 arbres afin d'être comparables avec celles des autres stations. Les cartes ont pour leur part été confectionnées avec le logiciel ArcGIS (Esri Canada, 2016) et avec la technique du krigeage.

Résultats et discussion

Au total, 915 (1985 et 1986) et 1 050 arbres (2016) ont été échantillonnés pour leur couvert en lichens (données disponibles sur demande). Si la composition des genres d'arbres échantillonnés se ressemble entre les années, il y avait tout de même certaines différences appréciables, les principales étant la plus grande proportion d'érables (*Acer*) et de frênes (*Fraxinus*) et la plus faible proportion d'ormes (*Ulmus*) en 2016 qu'en 1985 et 1986 (tableau 1). Ces changements n'ont rien de surprenant. L'érable de Norvège (*Acer platanoides*) et les frênes sont très populaires comme arbres de rue urbains, et représentaient (2006) respectivement 21 % et 14 % des arbres de propriété publique dans la ville de Québec (Lavoie, 2019). L'agrile du frêne (*Agrilus planipennis*), un insecte ravageur exotique, n'est arrivé dans la région de Québec qu'en 2017 et la ville n'avait pas en 2016 amorcé son programme d'abattage des frênes. Même si la Ville de Québec conserve encore de nos jours beaucoup d'ormes d'Amérique (*Ulmus americana*), la population de cette espèce est tout de même touchée par la maladie hollandaise de l'orme (*Ophiostoma ulmi*, *O. novo-ulmi*) depuis déjà plusieurs décennies. Les grands individus sont donc de moins en moins abondants.

Tableau 1. Arbres (genres) échantillonnés en 1985 ou 1986 et en 2016 sur le territoire de la région métropolitaine de Québec pour leur couvert en lichens corticoles.

Genre	pH de l'écorce ¹	1985-1986		2016	
		n	%	n	%
<i>Acer</i>	Élevé	275	30,1	560	53,3
<i>Aesculus</i>	?	–	–	2	0,2
<i>Betula</i>	Faible	2	0,2	–	–
<i>Fraxinus</i>	Moyen	101	11,0	183	17,4
<i>Juglans</i>	?	3	0,3	1	0,1
<i>Malus</i>	Élevé	1	0,1	3	0,3
<i>Populus</i>	Élevé	120	13,1	83	7,9
<i>Prunus</i>	?	1	0,1	–	–
<i>Quercus</i>	Faible	20	2,2	–	–
<i>Robinia</i>	?	–	–	9	0,9
<i>Salix</i>	Élevé	54	5,9	25	2,4
<i>Sorbus</i>	?	–	–	1	0,1
<i>Tilia</i>	?	15	1,6	64	6,1
<i>Ulmus</i>	Élevé	323	35,3	119	11,3
Total		915		1050	

1. Selon la British Lichen Society (<https://www.britishtlichensociety.org.uk/about-lichens/lichen-ecology>) : faible = pH de 3,8 à 5,8 ; moyen = pH de 5,2 à 6,6 ; élevé = pH de 4,7 à 7,1.

Le changement de la composition en genre d'arbres pourrait avoir une influence sur les lichens corticoles, puisque le pH de l'écorce varie d'un genre à l'autre et que certains lichens ne tolèrent pas les écorces à l'acidité élevée (McDonald et collab., 2017). Heureusement, au moins 96 % (1985 et 1986) et 93 % (2016) des arbres échantillonnés sont présumés avoir une écorce à pH moyen à élevé, et donc à acidité relativement faible (tableau 1). Ce résultat suggère que le changement n'a pas eu d'effet sur les lichens, du moins sous ce rapport.

Le couvert lichénique total a augmenté dans 80 % des stations revisitées en 2016 (de +6 % à 204 fois plus). Il n'a pas changé dans 5 % des stations et a diminué dans 15 % des cas (de –3 % à –67 %) comparativement à 1985-1986 (figure 1). Toutes espèces et toutes stations confondues, le couvert total en lichens a augmenté de 86 %. Cette augmentation a été d'au moins 50 % dans 58 % des stations inventoriées.

Parmi les 5 espèces de lichens examinées en 2016, *Candelaria concolor* est l'espèce dont le couvert a connu la plus forte hausse toutes stations confondues (+91 %), suivie de *Xanthomendoza fallax* (+74 %), de *Flavoparmelia caperata* (+38 %), de *Punctelia rudecta* (+17 %) et d'*Evernia mesomorpha* (+10 %). Les 3 espèces les plus sensibles à la pollution acide (*F. caperata*, *P. rudecta* et *E. mesomorpha*) ont donc connu l'augmentation la moins importante de leur couvert. Il faut toutefois noter que leur couvert est demeuré inchangé dans respectivement 48 %, 70 % et 68 % des stations. De plus, alors qu'on a trouvé peu de différences quant à la présence de 4 des 5 espèces de lichens de 1985-1986 à 2016 (*C. concolor* : présent dans 68 stations comparativement à 77 ; *E. mesomorpha* : 31 comparativement à 27 ; *P. rudecta* : 15 comparativement à 16 ; *X. fallax* : 81 comparativement à 80), on a détecté la présence de *F. caperata* dans bien plus de stations en 2016 (34) qu'en 1985-1986 (21), une hausse de 62 %. Cette différence est statistiquement significative (test de χ^2 : $P = 0,041$). Huit des nouvelles stations avec *F. caperata* se trouvaient dans la zone initialement occupée par le désert lichénique de 1985-1986, c'est-à-dire dans ce qui correspond aujourd'hui à l'arrondissement La Cité-Limoilou et à une petite partie de l'arrondissement Beauport, près du fleuve Saint-Laurent (figure 3).

En définitive, il semble donc que le couvert lichénique a pris de l'expansion sur les arbres dans l'ensemble du territoire à l'étude de 1985-1986 à 2016, et plus particulièrement dans les quartiers centraux de la ville de Québec. En fait, le désert lichénique de Québec observé en 1985 et 1986 a totalement disparu en 2016 (figure 3). C'est le principal fait nouveau mis en lumière par cette étude. Cette situation est davantage redevable aux espèces de lichens plus tolérantes à la pollution qu'aux espèces plus sensibles ; il n'y a *a priori* rien de surprenant au fait que ce sont les espèces les plus opportunistes qui profitent le plus rapidement d'une baisse des niveaux de pollution.

L'augmentation du couvert lichénique à Québec est cohérente avec la diminution notable des niveaux de SO_2 observés dans la ville et qui sont très faibles depuis le début des années 1990. En effet, les concentrations moyennes

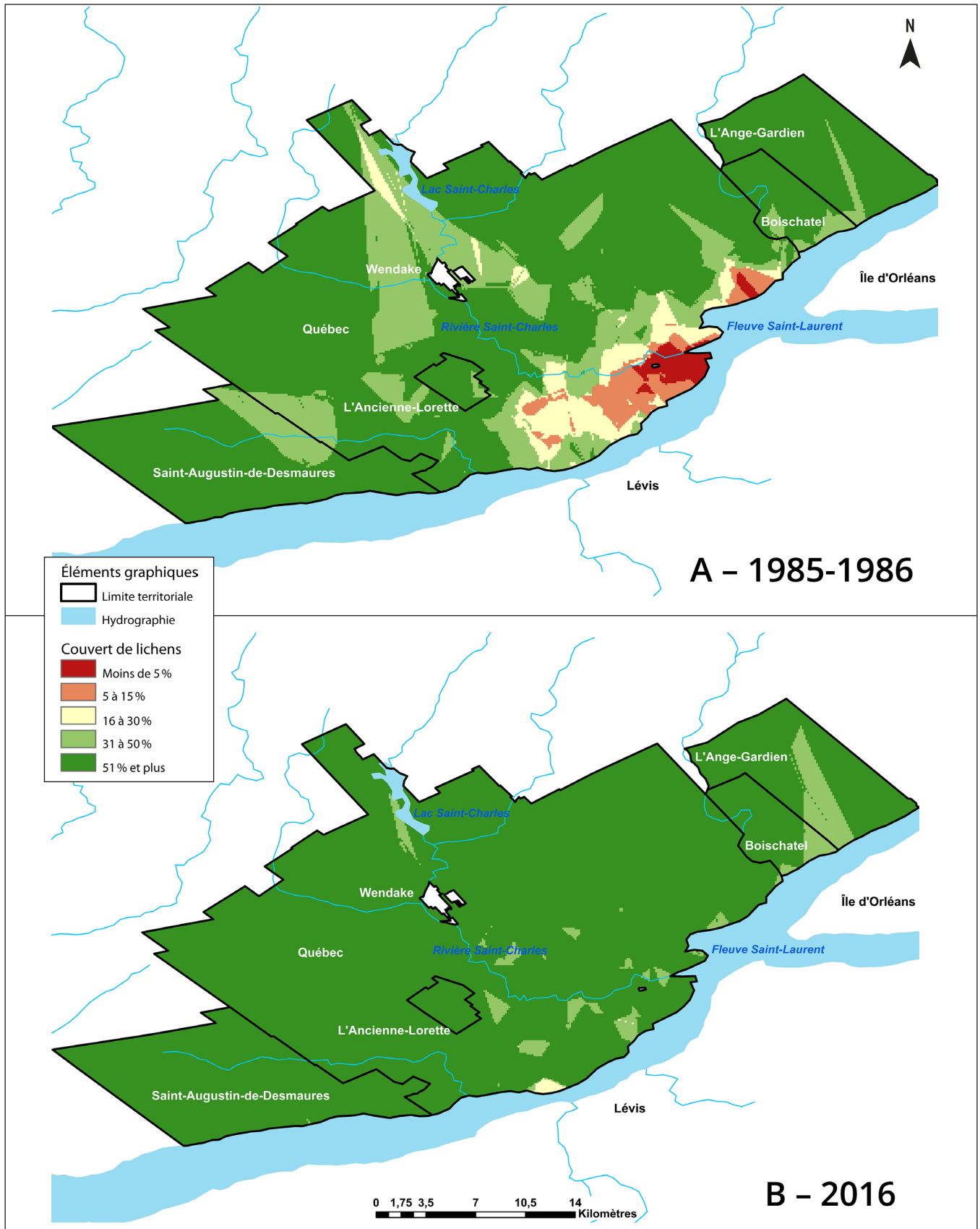


Figure 3. Évolution du couvert total des lichens corticoles (toutes espèces confondues) présents sur les arbres de 105 stations d'échantillonnage de la région métropolitaine de Québec de 1985-1986 à 2016.

de ce polluant dans l'air au cours des années 1970 étaient supérieures à 10 ppb, alors qu'elles n'étaient plus que de 0,7 ppb en 2014. Même timide, le début de colonisation des quartiers centraux de la ville par *Flavoparmelia caperata*, une espèce particulièrement sensible au SO₂, est révélateur d'une amélioration de la qualité de l'air (Will-Wolf et collab., 2015b). Les concentrations d'oxydes d'azote sont aussi en diminution depuis les années 1980. Ces baisses sont associées à la modernisation des équipements et des procédés industriels et au remplacement et à l'amélioration d'un parc automobile de moins en moins polluant (Foucreault et collab., 2016). La recolonisation des déserts lichéniques a été observée dans plusieurs pays industrialisés qui ont instauré des mesures plus contraignantes visant à réduire les émissions de polluants atmosphériques d'origine industrielle au cours des dernières décennies (Bates et collab., 2001).

Malgré l'augmentation généralisée du couvert lichénique, près d'une station sur 7 a connu une diminution de son couvert. Ces stations sont majoritairement situées en périphérie des quartiers centraux, dans la banlieue ceinturant Québec (figure 1). Étant donné la très grande sensibilité des lichens aux perturbations de l'environnement, il est possible que l'étalement urbain ait eu localement un effet sur le couvert des espèces malgré tous les efforts faits en milieu industriel pour améliorer la qualité de l'air. En effet, l'urbanisation engendre des transformations dans les habitats et les espèces qui les composent ainsi qu'une altération des processus naturels et du régime hydrologique local. Elle entraîne également de la pollution (transport, chauffage au bois, etc.). En conclusion, si les lichens se portent mieux dans la ville de Québec, et donc probablement aussi la qualité de l'air en général, ils donnent peut-être une mise en garde sur les effets insoupçonnés d'un tissu urbain qui ne cesse de s'agrandir. À cet effet, les professionnels de l'environnement ou de l'urbanisme pourraient effectuer des inventaires rapides et répétés de quelques espèces de lichens facilement identifiables sur les arbres dans la banlieue afin de documenter, à faible coût, l'état de la pollution atmosphérique urbaine. Ils pourraient ensuite agir pour en réduire les effets là où les problèmes deviennent préoccupants.

Remerciements

Nous remercions Jean Bérubé et Pierre Morisset pour le prêt de leurs précieuses notes de terrain, Claude Roy pour son aide en identification de lichens, et Stéphanie Pellerin et 2 évaluateurs anonymes pour leurs commentaires sur le manuscrit. ◀

Références

- AGNAN, Y., N. SÉJALON-DELMAS et A. PROBST, 2013. Comparing early twentieth century and present-day atmospheric pollution in SW France: a story of lichens. *Environmental Pollution*, 172 : 139-148. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.09.008>.
- ANDERSEN, A., M.F. HOVMAND et I.B. JOHNSEN, 1978. Atmospheric heavy metal deposition in the Copenhagen area. *Environmental Pollution* (1970), 17 : 133-151. [https://doi.org/10.1016/0013-9327\(78\)90046-0](https://doi.org/10.1016/0013-9327(78)90046-0).
- BATES, J.W., J.N.B. BELL et A.C. MASSARA, 2001. Loss of *Lecanora conizaeoides* and other fluctuations of epiphytes on oak in S.E. England over 21 years with declining SO₂ concentrations. *Atmospheric Environment*, 35 : 2557-2568. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00402-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00402-7).
- BÉRUBÉ, J., 1987. Les lichens corticoles comme indicateurs de la pollution atmosphérique dans la région de Québec. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, 164 p.
- BOZKURT, Z., 2017. Determination of airborne trace elements in an urban area using lichens as biomonitors. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189 : 573. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6275-x>.
- CISLAGHI, C. et P.L. NIMIS, 1997. Lichens, air-pollution and lung cancer. *Nature*, 387 : 463-464. <https://doi.org/10.1038/387463a0>.
- CONTI, M.E. et G. CECCHETTI, 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environmental Pollution*, 114 : 471-492. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00224-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00224-4).
- ESRI CANADA, 2016. ArcGIS, version 10.4.1. Esri Canada, Toronto.
- FERRY, B.W., M.S. BADDELEY et D.L. HAWKSWORTH, 1973. Air pollution and lichens. Ahtlone Press, Londres, 389 p.
- FOUCREAU, M.-A., D. BUSQUE et J. MCKINNON, 2016. Portrait de la qualité de l'air de la région de la Capitale-Nationale. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, Québec, 74 p.
- GARTY, J., 2001. Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: theory and application. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 20 : 309-371. <https://doi.org/10.1080/20013591099254>.
- GOMBERT, S., J. ASTA et M.R.D. SEAWARD, 2004. Assessment of lichen diversity by index of atmospheric purity (IAP), index of human impact (IHI) and other environmental factors in an urban area (Grenoble, southeast France). *Science of the Total Environment*, 324 : 183-199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.10.036>.
- GOVERNEMENT DU CANADA, 2016. Données climatiques historiques. Disponible en ligne à : <http://www.climate.weatheroffice.gc.ca>. [Visité le 2016-12-08].
- GRIES, C., 1996. Lichens as indicators of air pollution. Dans : NASH, T.H., III (édit.). *Lichen biology*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 240-254.
- KANDLER, O., 1988. Lichen and conifer recolonization in Munich's cleaner air. Dans : MATHY, P. (édit.). *Air pollution and ecosystems*. Springer, Dordrecht, p. 784-790.
- LAVOIE, C., 2013. Biological collections in an ever changing world: herbaria as tools for biogeographical and environmental studies. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 15 : 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2012.10.002>.
- LAVOIE, C., 2019. 50 plantes envahissantes : protéger la nature et l'agriculture. Les Publications du Québec, Québec, 416 p.
- LEBLANC, S.C.F. et J. DE SLOOVER, 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany*, 48 : 1485-1496. <https://doi.org/10.1139/b70-224>.
- LOPPI, S., L. FRATI, L. PAOLI, V. BIGAGLI, C. ROSSETTI, C. BRUSCOLI et A. CORSINI, 2004. Biodiversity of epiphytic lichens and heavy metal contents of *Flavoparmelia caperata* thalli as indicators of temporal variations of air pollution in the town of Montecatini Terme (central Italy). *Science of the Total Environment*, 326 : 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.12.003>.
- MATOS, P., J. VIEIRA, B. ROCHA, C. BRANQUINHO et P. PINHO, 2019. Modeling the provision of air-quality regulation ecosystem service provided by urban spaces using lichens as ecological indicators. *Science of the Total Environment*, 665 : 521-530. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.023>.
- MCDONALD, L., M. VAN WOUDEBERG, B. DORIN, A.M. ADCOCK, R.T. MCMULLIN et K. COTTENIE, 2017. The effects of bark quality on corticolous lichen community composition in urban parks of southern Ontario. *Botany*, 95 : 1141-1149. <https://doi.org/10.1139/cjb-2017-0113>.

- MUNZI, S., S. RAVERA et G. CANEVA, 2007. Epiphytic lichens as indicators of environmental quality in Rome. *Environmental Pollution*, 146 : 350-358. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.042>.
- NIMIS, P.L., C. SCHEIDEGGER et P.A. WOLSELEY, 2002. Monitoring with lichens – monitoring lichens: an introduction. Dans : NIMIS, P.L., C. SCHEIDEGGER et P.A. WOLSELEY (édit.). *Monitoring with lichens – monitoring lichens*. Springer, Dordrecht, p. 1-4.
- NYLANDER, M.W., 1866. Les lichens du Jardin du Luxembourg. *Bulletin de la Société botanique de France*, 13 : 364-371.
- NYLANDER, W., 1896. Les lichens des environs de Paris. *Typographie Paul Schmidt*, Paris, 142 p.
- PARVIAINEN, A., M. CASARES-PORCEL, C. MARCHESI et C.J. GARRIDO, 2019. Lichens as a spatial record of metal air pollution in the industrialized city of Huelva (SW Spain). *Environmental Pollution*, 253 : 918-929. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.086>.
- PURVIS, O.W., J. CHIMONIDES, V. DIN, L. EROTKRITOU, T. JEFFRIES, G.C. JONES, S. LOUWHOFF, H. READ et B. SPIRO, 2003. Which factors are responsible for the changing lichen floras of London? *Science of the Total Environment*, 310 : 179-189. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00638-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00638-1).
- PURVIS, O.W., M.R.D. SEAWARD et S. LOPPI, 2007. Lichens in a changing pollution environment: an introduction. *Environmental Pollution*, 146 : 291-292. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.048>.
- ROCHA, B., P. PINHO, J. VIEIRA, C. BRANQUINHO et P. MATOS, 2019. Testing the poleotolerance lichen response trait as an indicator of anthropic disturbance in an urban environment. *Diversity*, 11 : 55. <https://doi.org/10.3390/d11040055>.
- ROSE, C.I. et D.L. HAWKSWORTH, 1981. Lichen recolonization in London's cleaner air. *Nature*, 289 : 289-292. <https://doi.org/10.1038/289289a0>.
- RUSU, A.-M., G.C. JONES, P.D.J. CHIMONIDES et O.W. PURVIS, 2006. Biomonitoring using the lichen *Hypogymnia physodes* and bark samples near Zlatna, Romania immediately following closure of a copper ore-processing plant. *Environmental Pollution*, 143 : 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.11.002>.
- SEAWARD, M.R.D., 1993. Lichens and sulphur dioxide air pollution: field studies. *Environmental Reviews*, 1 : 73-91. <https://doi.org/10.1139/a93-007>.
- SEAWARD, M.R.D. et M.A. LETROUIT-GALINOU, 1991. Lichen recolonization of trees in the Jardin du Luxembourg, Paris. *Lichenologist*, 23 : 181-186. <https://doi.org/10.1017/S0024282991000324>.
- SHOWMAN, R.E., 1988. Mapping air quality with lichens, the North American experience. Dans : NASH, T.H., III et V. WIRTH (édit.). *Lichens, bryophytes and air quality*. Cramer, Berlin p. 67-89.
- SLOOF, J.E. et H.T. WOLTERBEEK, 1991. National trace-element air pollution monitoring survey using epiphytic lichens. *Lichenologist*, 23 : 139-165. <https://doi.org/10.1017/S0024282991000300>.
- STATISTIQUE CANADA, 2011. Profil de l'Enquête nationale auprès des ménages de 2011. Disponible en ligne à : <http://www12.statcan.gc.ca/nhs-enm/2011/dp-pd/prof/index.cfm?Lang=F>. [Visité le 2016-12-08].
- VILLE DE QUÉBEC, 2005. Plan directeur d'aménagement et de développement. Portrait du territoire. Une gestion durable de l'environnement. Disponible en ligne à : https://www.ville.quebec.qc.ca/planification_orientations/amenagement_urbain/pdad/. [Visité le 2016-12-08].
- WILL-WOLF, S., S. JOVAN, P. NEITLICH, J.E. PECK et R. ROSENTERER, 2015a. Lichen-based indices to quantify responses to climate and air pollution across northeastern U.S.A. *Bryologist*, 118 : 59-82. <https://doi.org/10.1639/0007-2745-118.1.059>.
- WILL-WOLF, S., M.M. MAKHOLM, M.P. NELSEN, M.T. TREST, A.H. REIS et S. JOVAN, 2015b. Element analysis of two common macrolichens supports bioindication of air pollution and lichen response in rural midwestern U.S.A. *Bryologist*, 118 : 371-384. <https://doi.org/10.1639/0007-2745-118.4.371>.
- YATAWARA, M. et N. DAYANANDA, 2019. Use of corticolous lichens for the assessment of ambient air quality along rural-urban ecosystems of tropics: a study in Sri Lanka. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191 : 179. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7334-2>.

LA FAUNE, notre mission, notre passion !

Grâce à la générosité de nos donateurs et aux contributions des chasseurs, pêcheurs et piégeurs, 270 projets de conservation de la faune ont été soutenus en 2019-2020 !

Philippe DeBruyne / Québec couleur nature

› Faites partie du mouvement faunique !

Devenez donateur mensuel : www.jedonneenligne.org/fondationdelafaune/CAMP/



Fondation
de la faune
du Québec



Gervais Comeau Conseiller en placement

1040, avenue Belvédère bureau 101, Québec (Québec) G1S 3G3
Téléphone : 418 681-2442 • gervais.comeau@iagto.ca



www.iavaleursmobilières.ca



Yvan Bedard
PHOTONATURE

Ph.D. Prof. émérite
Neuville, Qc
Canada G0A 2R0
1-418-561-7046

yvan_bedard@hotmail.com

PHOTOS-LICENCES-COURS-CONSEILS

<http://yvanbedardphotonature.com>