



Rapport d'expertise

Mise en place d'un protocole d'utilisation des lichens comme bio-indicateurs de la qualité de l'air dans six stations

C. Duflo & Y. Ferrez janv. 2022

Cette expertise a été réalisée par le Conservatoire botanique national de Franche-Comté – Observatoire régional des Invertébrés (CBNFC-ORI), dans le cadre d'un partenariat avec Grand Besançon Métropole, en association avec ATMO Bourgogne Franche-Comté.

CONTEXTE

Par leurs caractéristiques naturelles, les lichens sont de bons bio-indicateurs de la qualité de l'air. Des échanges préférentiels et majoritaires avec l'atmosphère, l'absence de stomates et de cuticule, une activité tout au long de l'année et une croissance lente, sont des propriétés intrinsèques permettant aux lichens de nous renseigner sur la pollution de l'air. Leur immobilité fait d'eux des indicateurs sur le long terme des perturbations de leur environnement. Ainsi, chaque espèce va posséder un seuil de tolérance par rapport à la pollution de l'air. Certaines espèces sont donc des sentinelles car leur présence peut nous indiquer une bonne qualité de l'air alors que leur absence peut nous informer d'une dégradation de l'environnement atmosphérique (Boucheron & Martin, 2019).

Par ces principes, les lichens sont très utilisés en biosurveillance, méthode complémentaire de l'estimation des concentrations en polluants dans l'air par des stations de relevés. En effet, ces dernières vont calculer les concentrations dans l'air des polluants éventuels alors que la biosurveillance par les lichens va rendre compte de la qualité de l'air globale et de l'interaction entre le vivant et l'atmosphère.

C'est pourquoi une action concernant la mise en place d'un protocole d'utilisation des lichens comme bio-indicateurs de la qualité de l'air a été intégrée à la convention de partenariat entre Grand Besançon Métropole et le Conservatoire botanique national de Franche-Comté – Observatoire régional des Invertébrés. ATMO Bourgogne Franche-Comté, association agréée faisant partie intégrante du réseau national de surveillance de la qualité de l'air sur le territoire, est associée au projet pour son expertise, afin d'envisager des comparaisons entre les différentes approches. Cette action s'inscrit en parallèle du Plan Climat-Air-Energie de Grand Besançon Métropole.

Un test de terrain a été réalisé en 2020 (Duflo, 2020), afin d'ajuster l'action et évaluer le temps nécessaire pour inventorier une station, de façon à calibrer au mieux le projet. La station était située à Besançon, dans le parc de la Gare d'Eau. Ce site a déjà été inventorié en 2013, au cours d'une première approche par des étudiants (Canova *et al.*, 2013).

Suite à ce test concluant, il a été décidé de développer ce protocole dans six stations sur le territoire de Grand Besançon Métropole. Il a pour objectif :

- d'estimer la qualité de l'air dans un maillage de zones habitées de Grand Besançon Métropole (indice général de qualité d'air et pollution azotée) ;
- de vérifier la concordance entre cette estimation et les modélisations réalisées par ATMO BFC ;
- de produire de la matière pour envisager une information des habitants ;

- de poser un temps zéro pour envisager un suivi des populations de lichens traduisant l'évolution de la qualité de l'air dans le cadre du Plan Climat Air Energie Territorial.

La figure 1 montre la localisation des sites retenus.

Les localités ont été choisies de manière à disposer de différents cas de figure dans le territoire de GBM. La liste des sites est la suivante :

- stations en milieu urbain potentiellement très soumis à la pollution générée par le trafic routier : parking de la zone commerciale de Châteaufarine, parking du complexe sportif de la Malcombe à Besançon ;
- stations en milieu plus rural à une certaine distance des gros trafics : centre de Saint-Vit, parking du Musée des maisons comtoises à Nancray ;
- stations à proximité d'école : école élémentaire de Pouilley-les-Vignes, lycée Louis Pergaud à Besançon.

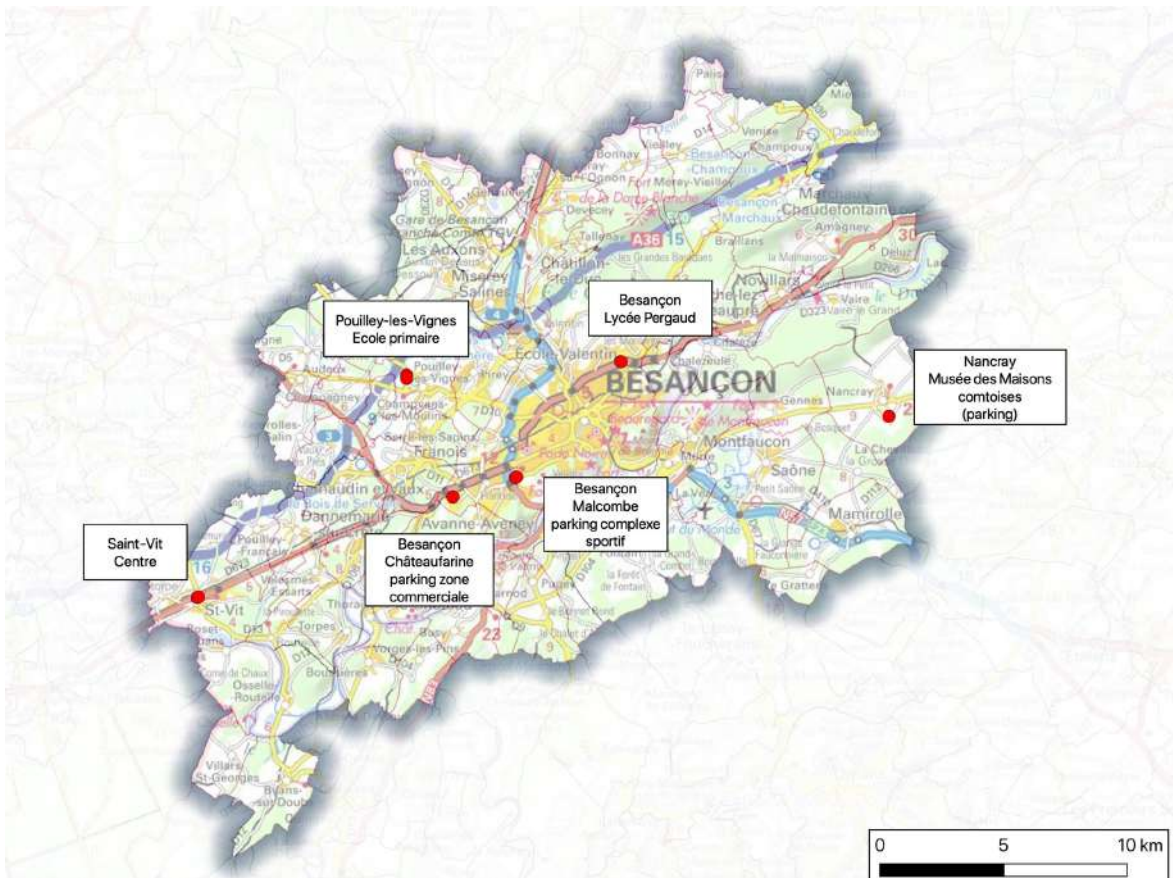


Figure n°1 - Localisation des points d'échantillonnage ©IGN 2017

METHODOLOGIE

La méthode appliquée, quantitative, vise au calcul d'un indice appelé diversité lichénique. Elle se base sur un protocole normalisé (AFNOR, 2008), reproductible, standardisé, permettant des comparaisons inter-sites, interannuelles.

Le protocole prévoit que chaque station soit constituée de cinq arbres isolés, éloignés les uns des autres d'une distance inférieure à 30 m. Ces arbres doivent répondre à un certain nombre de caractéristiques (essences similaires ou avec dont les écorces possèdent les mêmes qualités physico-chimiques, circonférence à 1,30 m du sol comprise entre 50 et 130 cm, la surface des éléments perturbateurs (tels que des bryophytes, cicatrices, nœuds) ne doit pas dépasser 20 % et l'inclinaison du tronc doit être inférieure à 20°).

Sur chacun des arbres, une grille (figure n°2) couvrant une aire de 10 cm × 50 cm, divisée en cinq carrés de 10 × 10 cm alignés à la verticale est appliquée à 1 m du sol et sur les quatre faces de l'arbre (aux quatre points cardinaux). Diverses observations de base sont notées sur la fiche de terrain concernant la station et, pour chaque orientation, le pourcentage de recouvrement de la grille par les lichens. Ensuite, chaque espèce de lichen présente dans la grille est identifiée, puis on compte le nombre de cases dans lesquelles chaque espèce est présente. Une note de fréquence allant de 0 à 5 est ainsi obtenue.



Figure n°2 - Dispositif d'échantillonnage quantitatif (C. Duflo)

Plusieurs calculs sont ensuite réalisés :

- somme des fréquences selon chaque orientation (SF nord, SFest, SFsud, SFouest) ;
- diversité lichénique par arbre (DLA) : somme des quatre fréquences par orientation ;
- diversité lichénique par station (DLS) : moyenne des DLA par arbre obtenues.
- Outre la méthode quantitative utilisée dans ce test, il existe aussi des méthodes qualitatives :
- l'échelle de Van Haluwyn & Lerond permet d'attribuer une catégorie de pollution de l'air au dioxyde de soufre pour chaque inventaire en fonction des espèces présentes (Van Haluwyn & Lerond, 1986). Cette échelle comprend 39 espèces classées en sept classes en fonction de leur sensibilité au dioxyde de soufre ;
- des notes d'eutrophisation sont disponibles pour les différentes espèces (Nimis & Martellos, 2020), indiquant ainsi leur capacité à se développer dans des milieux enrichis en azote. L'affinité des lichens pour les composés azotés est également précisée par Roux *et al.* (2020). Les espèces nitrophiles peuvent ainsi être utilisées comme indicateurs de pollution azotée. Une Valeur de diversité d'indicateur d'eutrophisation (LDVN - lichen diversity value nitrophilous) est calculée de la même manière que la DLS mais en ne tenant compte que des espèces nitrophiles.

RESULTATS

Les résultats sont présentés par stations. Dans chaque fiche le premier tableau présente les résultats des échantillonnages avec les données brutes et les calculs de diversité lichénique et le second tableau les principales caractéristiques des espèces de lichens inventoriées (polluo-sensibilité, affinité pour les nitrates, statut de menace). Les légendes des colonnes sont les suivantes :

Classes de pollution au dioxyde de soufre (SO₂) d'après Van Haluwyn & Lerond (1986)

Pollution très faible
pollution faible
pollution moyenne
pollution assez forte
pollution forte
pollution très forte

Classes d'eutrophisation (NO₂, NO₃, NH₄) d'après Roux *et al.* (2020) et Nimis & Martellos (2020)

non nitrophile
faiblement nitrophile
nitrophile
nitrophile strict

Statut liste rouge France | LC : préoccupation mineure ; NT : presque menacé

L'analyse des résultats est présentée de manière globale à la suite des fiches.

Station BES-1 : Besançon – Châteaufarine

Tableau n°1 - Données brutes et les calculs de diversité lichénique (Station BES-1).

Code station : BES-1	Commune : Besançon								Situation : Châteaufarine								Usage : parking zone commerciale							
Date : 6/09/2021	Auteur : YF - CD								Altitude				277 m				Photo :							
Code arbre	1				2				3				4				5							
Coordonnées GPS	5,949569 ; 47,216419				5,949756 ; 47,216388				5,94971 ; 47,216339				5,949631 ; 47,216308				5,949706 ; 47,216297							
(essence - circonférence)	Ace pse (88)				Ace pse (74,5)				Ace pla (73)				Ace pla (74)				Fra exe (73)							
Grille	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O				
% recouvrement lichens	70	20	35	60	35	40	70	20	60	60	80	50	50	50	70	30	15	50	70	70				
% rec élts perturbateurs	20	30	25	15		15	5	15			10	15			5	30	30	10	15	15				
déplacement grille	15°E	20°S	/	20°N			20°E								10°E					20°S				
remarque	bryophytes				bryophytes + cicatrice				bryophytes				bryophytes											
Espèces	Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence							
<i>Amandinea punctata</i>									5	5	5	5	1	1	2	1	4	1	1	3				
<i>Caloplaca cerinella</i>																1								
<i>Candelaria concolor</i>		1	2	1									4		1	1								
<i>Candelariella vitellina</i>																	4	4	3	1				
<i>Candelariella xanthostigma</i>					3			3	4	2	2	3	5	5	5	4	1	2	1					
<i>Evernia prunastri</i>				1																				
<i>Flavoparmelia caperata</i>			1	2						1	2	1	3	3	3									
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>				1			1		1	1			1	2				3	1	4				
<i>Hypotrachina revoluta</i>						1						1	1		1									
<i>Lecanora carpineae</i>	4	3				2			2	1	1	2		1										
<i>Lecanora chlorotera</i>	2			4	1				1	2	5	4				3	3	3	4	2				
<i>Lecanora leptyrodies</i>						2	1											3	1	1				
<i>Lecidella elaeochroma</i>						1	1		1	3	4	2	1	2	1	3	2	3	5	4				
<i>Lichen sp. (crustacé stérile)</i>														1										
<i>Melanelixia glabratula</i>					2	3	3	1							1									
<i>Melanohalea exasperatula</i>					1				1	1	2	1	1		1	1				1				
<i>Normandina pulchella</i>																	1							
<i>Ochrolechia subviridis</i>						1																		
<i>Parmelia sulcata</i>			1	2	1	3	1	1	2	2	5	2	1	3	1									
<i>Parmelina tiliacea</i>	1																							
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	5	4	4	5	4		2	3	2	2			4	2	5	5	5	5	5	5				
<i>Physcia adscendens</i>	4	3	2	5	3	2	3	2	5	5	4	5	5	3	5	5	2	2	3	4				
<i>Physconia distorta</i>															1									
<i>Pleurosticta acetabulum</i>			2				1				2	2								1				
<i>Punctelia borrieri</i>					2	4														1				
<i>Punctelia subrudecta</i>	4	5	4	5		3	4	2	2	3	5	4	3	3	5	2			4	2				
<i>Xanthoria parietina</i>		1	1		4			1	2		1		2	1	2	4	3	3	4	5				
somme des fréquences SF	20	17	17	26	21	19	19	14	28	28	38	32	32	27	34	30	25	29	32	34				
diversité lichénique arbre DLA Σ =	80				73				126				123				120							
diversité lichénique station DLS (Σ DLA / 5) =	104,4																							

Tableau n°II -Principales caractéristiques (polluo-sensibilité, affinité pour les nitrates, statut de menace) des espèces de lichens inventoriées (Station BES-1).

nom latin	classes de pollution au dioxyde de soufre (SO ₂)	classes d'eutrophisation (NO ₂ , NO ₃ , NH ₄)	statut liste rouge France	caractéristiques
<i>Amandinea punctata</i>			LC	espèce nitrotolérante, toxicolérante
<i>Caloplaca cerinella</i>			LC	peu ou modérément nitrophile.
<i>Candelaria concolor</i>			LC	espèce nitrophile qui fait partie des espèces de l'alliance du <i>Xanthorion parietinae</i> . Elle peut couvrir de grandes surfaces d'écorces d'arbres lorsque le milieu est enrichi en azote.
<i>Candelariella vitellina</i>			LC	héminitrophile ou de moyennement à très nitrophile
<i>Candelariella xanthostigma</i>			LC	non nitrophile ou héminitrophile
<i>Evernia prunastri</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Flavoparmelia caperata</i>			LC	non nitrophile
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>			LC	présent partout en France, semble devenir plus abondant en fonction du réchauffement climatique
<i>Hypotrachyna revoluta</i>			LC	non nitrophile
<i>Lecanora carpinea</i>			LC	sur troncs et branches de feuillus à écorce lisse, un peu partout en France
<i>Lecanora chlorotera</i>			LC	nitrotolérant
<i>Lecanora leptyroides</i>			LC	peu ou pas nitrophile
<i>Lecidella elaeochroma</i>			LC	espèce commune, sur troncs de feuillus à écorce lisse ou un peu fissurée. Modérément toxitolérante
<i>Melanelixia glabrata</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Melanohalea exasperatula</i>			LC	nitrotolérant
<i>Normandina pulchella</i>			LC	pousse en atmosphère humide, milieux peu ou pas nitrophiles. Majoritairement sur hépatiques ou mousses des écorces des arbres. Utilisé pour le calcul d'un indice de continuité forestière
<i>Ochrolechia subviridis</i>			LC	non nitrophile
<i>Parmelia sulcata</i>			LC	non ou modérément nitrophile, assez polluo-tolérant.
<i>Parmelina tiliacea</i>			LC	non ou moyennement nitrophile
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>			LC	présent partout en France, de plus en plus fréquent en zone urbanisée
<i>Physcia adscendens</i>			LC	nitrophile sur feuillus, très commune
<i>Physconia distorta</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Pleurosticta acetabulum</i>			LC	nitrotolérant
<i>Punctelia borrieri</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Punctelia subrudecta</i>			LC	assez commun sur feuillus isolés ou forêts claires, non ou modérément nitrophile
<i>Xanthoria parietina</i>			LC	très commun, l'un des lichens les plus utilisés en bio-surveillance de la qualité de l'air

Au total, 27 espèces différentes de lichens ont été observées dans la station.

La diversité lichénique de la station est de 104,4, la LDVN de 35,2. Le pourcentage de lichens nitrophiles dans la station est de 33,7%. La présence de deux espèces très polluo-sensibles (*Physconia distorta* et *Hypotrachyna revoluta*) montre que la pollution au SO₂ est très faible.

Station BES-2 : Besançon – Malcombe

Tableau n°III - Données brutes et les calculs de diversité lichénique (Station BES-2).

Code station : BES-2	Commune : Besançon				Situation : Malcombe				Usage : parking complexe sportif											
Date : 6/09/2021	Auteur : YF - CD				Altitude		250 m		Photo :											
Code arbre	1				2				3				4				5			
Coordonnées GPS	5,983695 ; 47,22274				5,984043 ; 47,222797				5,984216 ; 47,222747				5,984199 ; 47,222675				5,983377 ; 47,22248			
(essence - circonférence)	Ace pse (73,5)				Ace pla (117)				Ace pla (84)				Ace pla (87)				Ace pla (76)			
Grille	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O
% recouvrement lichens	15	40	40	10	15	5	5	15	60	50	70	60	30	15	60	50	25	10	30	20
% rec élts perturbateurs	30	25	30	30	20	30	30	30	20	20	10	20	30	30	25	30	25	20	40	20
déplacement grille												20°S								25°E
remarque	bryophytes				bryophytes				bryophytes				bryophytes				bryophytes			
Espèces	Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence			
<i>Amandinea punctata</i>												2					2	1	1	4
<i>Candelariella xanthostigma</i>									1	1										
<i>Evernia prunastri</i>																	1			
<i>Flavoparmelia caperata</i>	1	2	3					3				1	1	2	2		1	1		
<i>Lecidella elaeochroma</i>				1											1					
<i>Lepraria sp.</i>			1		2	3	3						1	4			3	4	1	
<i>Lichen sp. (crustacé stérile)</i>																				
<i>Melanelixia glabrata</i>				1					1								1			1
<i>Normandina pulchella</i>					1		1													
<i>Parmelia sulcata</i>		1	1	4	1				2	5	5	5	5	2	5	4	4			5
<i>Parmelina tiliacea</i>		3																		
<i>Parmotrema perlatum</i>													1							
<i>Phaeophyscia endophoenicca</i>						5	5							3	1					
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>					2				3	1		1	1				2	1	1	1
<i>Phlyctis argena</i>								3											1	
<i>Physcia adscendens</i>									1	2	2	1			1				1	1
<i>Physconia grisea</i>				1				1									1			
<i>Pleurosticta acetabulum</i>																				2
<i>Punctelia subrudecta</i>	3	5	4	1	3	2	3	1	1	1	2		3	3	5	5	5	5	5	4
<i>Ramalina farinacea</i>							1													
<i>Xanthoria parietina</i>				1								1	1							1
somme des fréquences SF	4	11	9	9	9	10	13	13	10	10	11	8	11	13	15	11	18	13	12	18
diversité lichénique arbre DLA Σ =	33				45				39				50				61			
diversité lichénique station DLS (Σ DLA / 5) =	45,6																			

Remarques :

- dans cette station, les érables semblent souffrir et les thalles des lichens sont en mauvais état.
- Beaucoup de recouvrement par les bryophytes, sur tous les arbres ; cependant, des plages d'écorce nue ne sont pas colonisées par des lichens, donc leur présence/absence n'est pas uniquement liée à la concurrence avec les bryophytes.
- *Normandina pulchella* est surtout présent dans des crevasses.

Tableau n°IV - Principales caractéristiques (polluo-sensibilité, affinité pour les nitrates, statut de menace) des espèces de lichens inventoriées (Station BES-2).

nom latin	classes de pollution au dioxyde de soufre (SO ₂)	classes d'eutrophisation (NO ₂ , NO ₃ , NH ₄)	statut liste rouge France	caractéristiques
<i>Amandinea punctata</i>			LC	espèce nitrotolérante, toxicolérante
<i>Candelariella xanthostigma</i>			LC	non nitrophile ou héminitrophile
<i>Evernia prunastri</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Flavoparmelia caperata</i>			LC	non nitrophile
<i>Lecidella elaeochroma</i>			LC	espèce commune, sur troncs de feuillus à écorce lisse ou un peu fissurée. Modérément toxitolérante
<i>Melanelixia glabrata</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Normandina pulchella</i>			LC	pousse en atmosphère humide, milieux peu ou pas nitrophiles. Majoritairement sur hépatiques ou mousses des écorces des arbres. Utilisé pour le calcul d'un indice de continuité forestière
<i>Parmelia sulcata</i>			LC	non ou modérément nitrophile, assez polluo-tolérant.
<i>Parmelina tiliacea</i>			LC	non ou moyennement nitrophile
<i>Parmotrema perlatum</i>			LC	non nitrophile
<i>Phaeophyscia endophoenicea</i>			NT	non nitrophile
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>			LC	présent partout en France, de plus en plus fréquent en zone urbanisée
<i>Phlyctis argena</i>			LC	conditions de développement assez variables : espèce largement distribuée. Bio-indicatrice d'une pollution faible
<i>Physcia adscendens</i>			LC	nitrophile sur feuillus, très commune
<i>Physconia grisea</i>			LC	très nitrophile qui se développe dans des zones avec des concentrations en azote importantes. Sensible à la pollution au dioxyde de soufre
<i>Pleurosticta acetabulum</i>			LC	nitrotolérant
<i>Punctelia subrudecta</i>			LC	assez commun sur feuillus isolés ou forêts claires, non ou modérément nitrophile
<i>Ramalina farinacea</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Xanthoria parietina</i>			LC	très commun, l'un des lichens les plus utilisés en bio-surveillance de la qualité de l'air

Au total, 21 espèces différentes de lichens ont été observées dans la station.

La diversité lichénique de la station est de 45,6, la LDVN de 5,2. Le pourcentage de lichens nitrophiles dans la station est de 11,4%. La présence d'une espèce très polluo-sensible (*Parmotrema perlatum*) tendrait à montrer que la pollution au SO₂ est très faible, cependant la présence d'un unique thalle dans la station ne semble pas significative. Toutefois de nombreuses espèces polluo-sensibles sont présentes et montrent que la pollution au SO₂ est faible.

Station BES-3 : Besançon – lycée Pergaud

Tableau n°V - Données brutes et les calculs de diversité lichénique (Station BES-3).

Code station : BES-3	Commune : Besançon				Situation : lycée Pergaud				Usage : campus du lycée												
Date : 23/09/2021	Auteur : YF - CD				Altitude : 335 m				Photo :												
Code arbre	1				2				3				4				5				
Coordonnées GPS	6,042408 ; 47,263217				6,042439 ; 47,263225				6,042478 ; 47,263236				6,042228 ; 47,263187				6,042054 ; 47,263305				
(essence - circonférence)	Ace pse (74)				Ace pse (97)				Ace pse (78)				Til sp (95)				Rob pse (92)				
Grille	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	
% recouvrement lichens	30	50	40	30	30	80	90	50	30	30	40	20	45	80	90	50	30	50	60	50	
% rec élts perturbateurs	0	0	1	2									10	20		20	20	5	15	25	
déplacement grille					20° O																20° S
remarque	bryophytes				nostoc				tronc incliné de 10° vers le sud				bryophytes				bryophytes				
Espèces	Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence				
<i>Amandinea punctata</i>			5	1		2		1			3				2	1	1	1	2	3	
<i>Buellia griseovirens</i>	5	2	1	5	3	2		2	3			2									
<i>Candelaria concolor</i>		2	3	4		1	1	1	5	5	4		4	4	4	2	4	5	5	5	
<i>Candelariella xanthostigma</i>	5	5	5	5	5	4	3	4	1	4	3	4	1	4	3	1	5	2			
<i>Evernia prunastri</i>		2				1					1		1	2	1						
<i>Flavoparmelia caperata</i>	1	2		1		2					1							2			
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>				1							1		1		1	4				1	
<i>Hypotrachina afrorevoluta</i>					1	1	5	3	1				1	5	5	1		3	1		
<i>Lecanora chlorotera</i>	1	1	2	1	1	2		1													
<i>Lecanora leptyroides</i>		1								3	2	2									
<i>Lecidella elaeochroma</i>		2	1						2	2	2	3						1	4		
<i>Lepraria</i> sp.													2	1		2					
Lichen sp. (crustacé stérile)					3	2			1									1			
<i>Melanelixia glabratula</i>	1	3	2	5						1		3			1				1		
<i>Melanohalea elegantula</i>					1	3	3	1													
<i>Melanohalea exasperatula</i>									3	1	1				1		4	1			
<i>Normandina pulchella</i>				1	2				3	2			5	5	3		3	3	4	1	
<i>Parmelia sulcata</i>	3	4	3	3	3	5			5	5	2	3		2	4						
<i>Parmelina tiliacea</i>	5	1		1	2	1	1	3	3	3	2		1								
<i>Phaeophyscia endophoenicca</i>																				1	
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>									1					3	5		1	1			
<i>Phlyctis argena</i>				2	3			1	2		1	1	3	2		3	2				
<i>Physcia tenella</i>	1	3	4	5	4	3			1	2	3	3	4		1	3	2	3	5		
<i>Pleurosticta acetabulum</i>																1					
<i>Punctelia subrudecta</i>	2	3	3	3	3	3	5	5	2	2	4	3	4	3	5	5	5	5	5	5	
<i>Xanthoria parietina</i>			1	3	1				1		2	1	1	2			4	1	1		
somme des fréquences SF	24	31	30	41	32	32	18	27	32	32	31	32	29	27	29	33	36	32	14	16	
diversité lichénique arbre DLA Σ =	126				109				127				118				98				
diversité lichénique station DLS (Σ DLA / 5) =	115,6																				

Tableau n°VI - Principales caractéristiques (polluo-sensibilité, affinité pour les nitrates, statut de menace) des espèces de lichens inventoriées (Station BES-3).

nom latin	classes de pollution au dioxyde de soufre (SO ₂)	classes d'eutrophisation (NO ₂ , NO ₃ , NH ₄)	statut liste rouge France	caractéristiques
<i>Amandinea punctata</i>			LC	espèce nitrotolérante, toxicolérante
<i>Buellia griseovirens</i>			LC	non nitrophile
<i>Candelaria concolor</i>			LC	espèce nitrophile qui fait partie des espèces de l'alliance du <i>Xanthorion parietinae</i> . Elle peut couvrir de grandes surfaces d'écorces d'arbres lorsque le milieu est enrichi en azote.
<i>Candelariella xanthostigma</i>			LC	non nitrophile ou héminitrophile
<i>Evernia prunastri</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Flavoparmelia caperata</i>			LC	non nitrophile
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>			LC	présent partout en France, semble devenir plus abondant en fonction du réchauffement climatique
<i>Hypotrachyna afrorevoluta</i>			LC	peu ou pas nitrophile
<i>Lecanora chlarotera</i>			LC	nitrotolérant
<i>Lecanora leptyodes</i>			LC	peu ou pas nitrophile
<i>Lecidella elaeochroma</i>			LC	espèce commune, sur troncs de feuillus à écorce lisse ou un peu fissurée. Modérément toxitolérante
<i>Melanelixia glabratula</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Melanohalea elegantula</i>			LC	héminitrophile
<i>Melanohalea exasperatula</i>			LC	nitrotolérant
<i>Normandina pulchella</i>			LC	pousse en atmosphère humide, milieux peu ou pas nitrophiles. Majoritairement sur hépatiques ou mousses des écorces des arbres. Utilisé pour le calcul d'un indice de continuité forestière
<i>Parmelia sulcata</i>			LC	non ou modérément nitrophile, assez polluo-tolérant.
<i>Parmelina tiliacea</i>			LC	non ou moyennement nitrophile
<i>Phaeophyscia endophoenicea</i>			NT	non nitrophile
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>			LC	présent partout en France, de plus en plus fréquent en zone urbanisée
<i>Phlyctis argena</i>			LC	conditions de développement assez variables : espèce largement distribuée. Bio-indicatrice d'une pollution faible
<i>Physcia tenella</i>			LC	
<i>Pleurosticta acetabulum</i>			LC	nitrotolérant
<i>Punctelia subrudecta</i>			LC	assez commun sur feuillus isolés ou forêts claires, non ou modérément nitrophile
<i>Xanthoria parietina</i>			LC	très commun, l'un des lichens les plus utilisés en bio-surveillance de la qualité de l'air

Au total, 26 espèces différentes de lichens ont été observées dans la station.

La diversité lichénique de la station est de 115,6, la LDVN de 19,4. Le pourcentage de lichens nitrophiles dans la station est de 16,7%. La présence de six espèces polluo-sensibles montre que la pollution au SO₂ est faible.

Station NAN-1 : Nancray– musée des maisons comtoises

Tableau n°VII - Données brutes et les calculs de diversité lichénique (Station NAN-1).

Code station : NAN-1	Commune : Nancray								Situation : musée des maisons comtoises				Usage : parking							
Date : 01/09/2021	Auteur : YF - CD								Altitude		445 m		Photo :							
Code arbre	1				2				3				4				5			
Coordonnées GPS	6,184188 ; 47,239444				6,18434 ; 47,239555				6,184609 ; 47,239635				6,184153 ; 47,239501				6,184066 ; 47,239295			
(essence - circonférence)	Ace pla (54)				Ace pla (68)				Ace pla (70,5)				Ace pla (63)				Ace pla (56)			
Grille	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O
% recouvrement lichens	100	90	80	90	90	80	85	85	95	85	90	60	80	70	75	80	100	90	95	90
% rec élts perturbateurs	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
déplacement grille																				
remarque									écorce abîmée											
Espèces	Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence			
<i>Caloplaca cerinella</i>													1							
<i>Candelariella xanthostigma</i>	5	4	3	2			5	4	1	1	2	2			3	5	3			
<i>Evernia prunastri</i>	0	3	2	1				1				1			2		1	1	2	4
<i>Flavoparmelia caperata</i>	2				1	1											1	1	2	4
<i>Hypogymnia physodes</i>				1					2									2	1	3
<i>Hypogymnia tubulosa</i>					1				1									1		
<i>Hypotrachina afrorevoluta</i>									1											
<i>Lecanora albella</i>											1	1								1
<i>Lecanora argentata</i>	5	5	5	3	3	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4				3
<i>Lecanora carpinea</i>									2											
<i>Lecanora strabilina</i>		1							1											
<i>Lecidella elaeochroma</i>	2	4	3		1	4	4	2	1	1	2	2	1	4	4	5		1	4	
<i>Lepra albescens</i>													1				1			
<i>Lepra amara</i>					2	1			2	1										1
<i>Lepraria sp.</i>					1															
<i>Melanelixia glabratula</i>	2		4	2	4	3	1	1		4	1	1	2	5	3		1	1	3	
<i>Melanelixia subaurifera</i>					1															
<i>Melanohalea exasperata</i>							2					1								
<i>Melanohalea exasperatula</i>	5	4	1	4		1			3	2	1	1	5	2	4	5		1		
<i>Normandina pulchella</i>	2												2							
<i>Parmelia sulcata</i>	1	5	5	5	3	5	5	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5
<i>Parmeliina pastilifera</i>																				
<i>Parmelina tiliacea</i>	2		1							1			2	1						
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>															1	1				
<i>Phlyctis agelea</i>	5		1	2	4	3				5	4		5	2			5	5		1
<i>Phlyctis argena</i>																				
<i>Physcia adscendens</i>	2	4	4		2	1				1	2		1		1	1				1
<i>Physcia aipolia</i>	1											1								
<i>Physcia tenella</i>							2						1	4		2				
<i>Pleurosticta acetabulum</i>			1																	
<i>Pseudevernia furfuracea</i>				1																
<i>Punctelia subrudecta</i>	4	1			4	1		1		3			3	4		1				
<i>Ramalina farinacea</i>	2																			
<i>Usnea sp.</i>		1																		
<i>Xanthoria parietina</i>									1				1			1				
somme des fréquences SF	40	32	30	22	27	29	24	23	22	28	21	8	33	35	27	37	16	16	25	16
diversité lichénique arbre DLA $\Sigma =$	124				103				79				132				73			
diversité lichénique station DLS ($\Sigma DLA / 5$) =	102,2																			

Remarque : *Ramalina fastigiata* observé hors relevé.

Tableau n°VIII -Principales caractéristiques (polluo-sensibilité, affinité pour les nitrates, statut de menace) des espèces de lichens inventoriées (Station NAN-1).

nom latin	classes de pollution au dioxyde de soufre (SO ₂)	classes d'eutrophisation (NO ₂ , NO ₃ , NH ₄)	statut liste rouge France	caractéristiques
<i>Caloplaca cerinella</i>			LC	peu ou modérément nitrophile.
<i>Candelariella xanthostigma</i>			LC	non nitrophile ou héminitrophile
<i>Evernia prunastri</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Flavoparmelia caperata</i>			LC	non nitrophile
<i>Hypogymnia physodes</i>			LC	non ou peu nitrophile
<i>Hypogymnia tubulosa</i>			LC	non ou peu nitrophile
<i>Hypotrachyna afrorevoluta</i>			LC	peu ou pas nitrophile
<i>Lecanora albella</i>			LC	non nitrophile
<i>Lecanora argentata</i>			LC	non ou peu nitrophile
<i>Lecanora carpinea</i>			LC	sur troncs et branches de feuillus à écorce lisse, un peu partout en France
<i>Lecanora strobilina</i>			LC	non ou peu nitrophile
<i>Lecidella elaeochroma</i>			LC	espèce commune, sur troncs de feuillus à écorce lisse ou un peu fissurée. Modérément toxitolérante
<i>Lepra albescens</i>			LC	non ou peu nitrophile
<i>Lepra amara</i>			LC	non nitrophile
<i>Melanelixia glabrata</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Melanelixia subaurifera</i>			LC	non ou peu nitrophile
<i>Melanohalea exasperata</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Melanohalea exasperatula</i>			LC	nitrotolérant
<i>Normandina pulchella</i>			LC	pousse en atmosphère humide, milieux peu ou pas nitrophiles. Majoritairement sur hépatiques ou mousses des écorces des arbres. Utilisé pour le calcul d'un indice de continuité forestière
<i>Parmelia sulcata</i>			LC	non ou modérément nitrophile, assez polluo-tolérant.
<i>Parmelina pastillifera</i>			LC	non ou moyennement nitrophile
<i>Parmelina tiliacea</i>			LC	non ou moyennement nitrophile
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>			LC	présent partout en France, de plus en plus fréquent en zone urbanisée
<i>Phlyctis agelaea</i>			LC	non nitrophile
<i>Phlyctis argena</i>			LC	conditions de développement assez variables : espèce largement distribuée. Bio-indicatrice d'une pollution faible
<i>Physcia adscendens</i>			LC	nitrophile sur feuillus, très commune
<i>Physcia aipolia</i>			LC	non ou modérément nitrophile.
<i>Physcia tenella</i>			LC	
<i>Pleurosticta acetabulum</i>			LC	nitrotolérant
<i>Pseudevernia furfuracea</i>			LC	non ou peu nitrophile
<i>Punctelia subrudecta</i>			LC	assez commun sur feuillus isolés ou forêts claires, non ou modérément nitrophile
<i>Xanthoria parietina</i>			LC	très commun, l'un des lichens les plus utilisés en bio-surveillance de la qualité de l'air

Au total, 35 espèces différentes de lichens ont été observées dans la station.

La diversité lichénique de la station est de 102,2, la LDVN de 5. Le pourcentage de lichens nitrophiles dans la station est de 4,9%. La présence d'une espèce très polluo-sensible (*Physcia aipolia*) tendrait à montrer que la pollution au SO₂ est très faible, cependant la présence de deux thalles dans la station ne semble pas significative. Toutefois de nombreuses espèces polluo-sensibles sont présentes et montrent que la pollution au SO₂ est faible.

Station POU-1 : Pouilley-les-Vignes – école élémentaire

Tableau n° IX - Données brutes et les calculs de diversité lichénique (Station POU-1).

Code station : POU-1	Commune : Pouilley-les-Vignes				Situation : route de Pelousey				Usage : chemin piétonnier pour accès à l'école élémentaire											
Date : 02/09/2021	Auteur : YF - CD				Altitude		233 m		Photo :											
Code arbre	1				2				3				4				5			
Coordonnées GPS	5,927337 ; 47,260673				5,927383 ; 47,260219				5,927377 ; 47,260021				5,927382 ; 47,260339				5,927402 ; 47,261451			
(essence - circonférence)	Ace pse (133)				Ace pse (115)				Ace pse (120)				Ace pse (120)				Ace pse (108)			
Grille	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O
% recouvrement lichens	90	50	40	20	25	10	15	10	25	20	10	30	40	20	5	10	90	60	30	5
% rec élts perturbateurs	5	20	10	5	5				5		10	30	30	10	5	15				50
déplacement grille								5°S				20°E					5°E			(*)
remarque	bryophytes				bryophytes + cicatrice				bryophytes											
Espèces	Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence			
<i>Arthonia radiata</i>									1			1		1						
<i>Caloplaca cerinella</i>				1																
<i>Candelaria concolor</i>																			1	
<i>Candelariella xanthostigma</i>	1								2	3							2	3		
<i>Evernia prunastri</i>					1			1												
<i>Flavoparmelia caperata</i>		1																4	2	
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>		1		5																
<i>Lecanora carpinea</i>	2	2							4	2										
<i>Lecanora chlorotera</i>	4	2	2	2	4	2	4	2	1	3	5	1	4	1			2	1		
<i>Lecidella elaeochroma</i>	5	2	1		5	3	1	5	4	3	2	2							2	
<i>Lichen sp. (lépreux stérile)</i>								1												
<i>Parmelia sulcata</i>	3																	2		
<i>Parmotrema perlatum</i>																			2	
<i>Pertusaria pertusa</i>							1													
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	1	3	5	1		5		1	5	5	4	4		3						4
<i>Physcia adscendens</i>	4	2	3	2					3	1	2	3	5	5			1	1	5	4
<i>Physcia aipolia</i>																	1			
<i>Physconia distorta</i>																				2
<i>Physconia grisea</i>									1											
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	2			1				1			1	1								1
<i>Punctelia subrudecta</i>	4	5	5	3	5	5	3	3	2	5	2	3	3			2	5	5	2	2
<i>Xanthoria parietina</i>	3	1	5				3		2	2	3	4	5	5	3	2	1	1	5	1
somme des fréquences SF	29	19	21	15	15	10	17	14	25	24	19	19	17	15	3	4	19	17	19	12
diversité lichénique arbre DLA Σ =	84				56				87				39				67			
diversité lichénique station DLS (Σ DLA / 5) =	66,6																			

(*) : pas de possibilité de décaler la grille en raison d'une cicatrice.

Tableau n°X -Principales caractéristiques (polluo-sensibilité, affinité pour les nitrates, statut de menace) des espèces de lichens inventoriées (Station POU-1).

nom latin	classes de pollution au dioxyde de soufre (SO ₂)	classes d'eutrophisation (NO ₂ , NO ₃ , NH ₄)	statut liste rouge France	caractéristiques
<i>Arthonia radiata</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Caloplaca cerinella</i>			LC	peu ou modérément nitrophile.
<i>Candelaria concolor</i>			LC	espèce nitrophile qui fait partie des espèces de l'alliance du <i>Xanthorion parietinae</i> . Elle peut couvrir de grandes surfaces d'écorces d'arbres lorsque le milieu est enrichi en azote.
<i>Candelariella xanthostigma</i>			LC	non nitrophile ou héminitrophile
<i>Evernia prunastri</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Flavoparmelia caperata</i>			LC	non nitrophile
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>			LC	présent partout en France, semble devenir plus abondant en fonction du réchauffement climatique
<i>Lecanora carpinea</i>			LC	sur troncs et branches de feuillus à écorce lisse, un peu partout en France
<i>Lecanora chlorotera</i>			LC	nitrotolérant
<i>Lecidella elaeochroma</i>			LC	espèce commune, sur troncs de feuillus à écorce lisse ou un peu fissurée. Modérément toxitolérante
<i>Parmelia sulcata</i>			LC	non ou modérément nitrophile, assez polluo-tolérant.
<i>Parmotrema perlatum</i>			LC	non nitrophile
<i>Pertusaria pertusa</i>				non ou peu nitrophile
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>			LC	présent partout en France, de plus en plus fréquent en zone urbanisée
<i>Physcia adscendens</i>			LC	nitrophile sur feuillus, très commune
<i>Physcia aipolia</i>			LC	non ou modérément nitrophile.
<i>Physconia distorta</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Physconia grisea subsp. grisea</i>			LC	très nitrophile qui se développe dans des zones avec des concentrations en azote importantes. Sensible à la pollution au dioxyde de soufre
<i>Pleurosticta acetabulum</i>			LC	nitrotolérant
<i>Punctelia subrudecta</i>			LC	assez commun sur feuillus isolés ou forêts claires, non ou modérément nitrophile
<i>Xanthoria parietina</i>			LC	très commun, l'un des lichens les plus utilisés en bio-surveillance de la qualité de l'air

Au total, 22 espèces différentes de lichens ont été observées dans la station.

La diversité lichénique de la station est de 66,6, la LDVN de 28,2. Le pourcentage de lichens nitrophiles dans la station est de 42,3%. La présence de trois espèces très polluo-sensibles (*Parmotrema perlatum*, *Physcia aipolia* et *Physconia distorta*) montrent que la pollution au SO₂ est très faible.

Station StVIT-1 : Saint-Vit – village

Tableau n°XI - Données brutes et les calculs de diversité lichénique (Station StVIT-1).

Code station : StVIT-1	Commune : Saint-Vit				Situation : village				Usage : place, parking											
Date : 02/09/2021	Auteur : YF - CD				Altitude		252 m		Photo :											
Code arbre	1				2				3				4				5			
Coordonnées GPS	5,812057 ; 47,183353				5,811511 ; 47,183132				5,811426 ; 47,183124				5,811397 ; 47,183208				5,811121 ; 47,18317			
(essence - circonférence)	Aes sp (118)				Aes sp (160)				Aes sp (146)				Aes sp (137)				Til pla (97)			
Grille	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O
% recouvrement lichens	30	20	25	50	50	20	10	15	25	70	30	25	40	5	70	20	50	30	90	30
% rec élts perturbateurs	20	5	5		25	30	10	30	20		10	20	5		15	25	10	10	5	20
déplacement grille						10°N		20°S				20°S				10°N		5°N		20°S
remarque	bryophytes				bryophytes				bryophytes				bryophytes							
Espèces	Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence				Fréquence			
<i>Acrocordia gemmata</i>				1							1						3			
<i>Amandinea punctata</i>													1							
<i>Candelariella vitellina</i>																	2	1		4
<i>Candelariella xanthostigma</i>	4	4	3	4							2									
<i>Evernia prunastri</i>																	1			
<i>Flavoparmelia caperata</i>	1	3	2	5			1	2					2		2	2	4	3	5	5
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>															1					
<i>Hypogymnia physodes</i>																	1			
<i>Lecanora carpinea</i>																	1			
<i>Lecanora chlorotera</i>	3	3	4	2			1									1	2	1	3	4
<i>Lecidella elaeochroma</i>	1	2	3															4		1
<i>Lepra amara</i>	1	1		2																2
<i>Lepraria sp.</i>					5	5			5	5			4	5		1		1		
<i>Melanelixia subaurifera</i>	2																			
<i>Melanohalea elegantula</i>													3	2	2	3				
<i>Melanohalea exasperatula</i>													2							
<i>Ochrolechia subviridis</i>		1	1																	
<i>Parmelia sulcata</i>	4	2	3	4			1													1
<i>Parmeliina pastillifera</i>															2					
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>													2	2						
<i>Phlyctis argena</i>	2				3															
<i>Physcia adscendens</i>	2		2	1								1	1	2	2	1		1		1
<i>Physconia grisea</i>											1	1		1	2					3
<i>Punctelia subrudecta</i>	1		2	1					5	5	5	5	5	1	5	5	3	5	2	3
<i>Xanthoria parietina</i>													1		1					
somme des fréquences SF	21	16	20	20	8	5	3	2	10	10	9	7	18	14	19	13	17	16	10	24
diversité lichénique arbre DLA Σ =	77				18				36				64				67			
diversité lichénique station DLS (Σ DLA / 5) =	52,4																			

NB : présence de thalles morts ou moribonds sur les arbres 1 et 3. Globalement, beaucoup de *Xanthoria parietina* et *Hyperphyscia adglutinata* à la base des troncs.

Tableau n°XII - Principales caractéristiques (polluo-sensibilité, affinité pour les nitrates, statut de menace) des espèces de lichens inventoriées (Station StVIT-1).

nom latin	classes de pollution au dioxyde de soufre (SO ₂)	classes d'eutrophisation (NO ₂ , NO ₃ , NH ₄)	statut liste rouge France	caractéristiques
<i>Acrocordia gemmata</i>			LC	sur arbres feuillus en situation ouverte ; caractérise une association lichénique nitrophobe
<i>Amandinea punctata</i>			LC	espèce nitro tolérante, toxicolérante
<i>Candelariella vitellina</i>			LC	héminitrophile ou de moyennement à très nitrophile
<i>Candelariella xanthostigma</i>			LC	non nitrophile ou héminitrophile
<i>Evernia prunastri</i>			LC	non ou modérément nitrophile
<i>Flavoparmelia caperata</i>			LC	non nitrophile
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>			LC	présent partout en France, semble devenir plus abondant en fonction du réchauffement climatique
<i>Hypogymnia physodes</i>			LC	non ou peu nitrophile
<i>Lecanora carpinea</i>			LC	sur troncs et branches de feuillus à écorce lisse, un peu partout en France
<i>Lecanora chlorotera</i>			LC	nitro tolérant
<i>Lecidella elaeochroma</i>			LC	espèce commune, sur troncs de feuillus à écorce lisse ou un peu fissurée. Modérément toxitolérante
<i>Lepra amara</i>			LC	non nitrophile
<i>Melanelixia subaurifera</i>			LC	non ou peu nitrophile
<i>Melanohalea elegantula</i>			LC	héminitrophile
<i>Melanohalea exasperatula</i>			LC	nitro tolérant
<i>Ochrolechia subviridis</i>			LC	non nitrophile
<i>Parmelia sulcata</i>			LC	non ou modérément nitrophile, assez polluo-tolérant.
<i>Parmelina pastillifera</i>			LC	non ou moyennement nitrophile
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>			LC	présent partout en France, de plus en plus fréquent en zone urbanisée
<i>Phlyctis argena</i>			LC	conditions de développement assez variables : espèce largement distribuée. Bio-indicatrice d'une pollution faible
<i>Physcia adscendens</i>			LC	nitrophile sur feuillus, très commune
<i>Physconia grisea subsp. grisea</i>			LC	très nitrophile qui se développe dans des zones avec des concentrations en azote importantes. Sensible à la pollution au dioxyde de soufre
<i>Punctelia subrudecta</i>			LC	assez commun sur feuillus isolés ou forêts claires, non ou modérément nitrophile
<i>Xanthoria parietina</i>			LC	très commun, l'un des lichens les plus utilisés en bio-surveillance de la qualité de l'air

Au total, 25 espèces différentes de lichens ont été observées dans la station.

La diversité lichénique de la station est de 52,4, la LDVN de 7,2. Le pourcentage de lichens nitrophiles dans la station est de 13,7%. La présence de sept espèces polluo-sensibles montre que la pollution au SO₂ est faible.

ANALYSE DES RESULTATS

Le tableau XIII présente les résultats de manière synthétique pour l'ensemble des stations étudiées.

Tableau n°XIII - Synthèse des résultats par stations.

	Richesse spécifique	DLS	LDVN	LDVN/DLS (%)	Pollution SO ₂
BES-1	27	104,4	35,2	33,7	Très faible
BES-2	21	45,6	5,2	11,4	Faible
BES-3	26	115,6	19,4	16,7	Faible
NAN-1	35	102,2	5	4,9	Faible
POU-1	22	66,6	28,2	42,3	Très faible
StVIT-1	25	52,4	7,2	13,7	Faible

Richesse spécifique

La moyenne calculée sur les six stations est de 26 lichens avec une médiane à 25,5. Le nombre minimum de lichens observés dans une station est de 21 pour BES-2 à la Malcombe, le nombre maximum est de 35 pour NAN-1 à Nancray. Cette richesse est cohérente par exemple avec celle observée en plaine d'Alsace (Di Pol, 2018) où elle se situe entre 9 et 23 espèces.

Diversité lichénique (DLS)

La moyenne des valeurs de DLS calculée sur les six stations est de 81,1 avec un écart-type de 29,9. Cet écart-type montre la grande variabilité des valeurs de DLS entre les localités. La valeur la plus élevée est celle de BES-3 au lycée Pergaud et la plus faible celle de BES-2 à la Malcombe. Deux autres stations, BES-1 et NAN-1 présentent également des valeurs élevées supérieures à 100. StVIT-1 et POU-1 présentent des valeurs inférieures à la moyenne. Un test de corrélation non paramétrique de Spearman montre que les valeurs de DLS ne sont pas corrélées à celles de la richesse spécifique (p -value = 0.8028 ; ρ = 0.1428571).

Valeur de diversité d'indicateur d'eutrophisation (LDVN) et ratio LDVN/DLS

La moyenne des valeurs est de 16,7 et l'écart-type est très important également (13), montrant la diversité des situations. Par ailleurs, le calcul du Rho de Spearman montre qu'il n'y a pas de corrélation entre les valeurs de DLS et de LDVN (p -value = 0.4194 ; ρ = 0.4285714). La figure n°3 permet de visualiser graphiquement les valeurs de DLS et de LDVN sous forme d'histogrammes auxquels se superpose une courbe de variation du ratio LDVN/DLS. Le graphique est présenté avec les plus hautes valeurs de DLS à gauche.

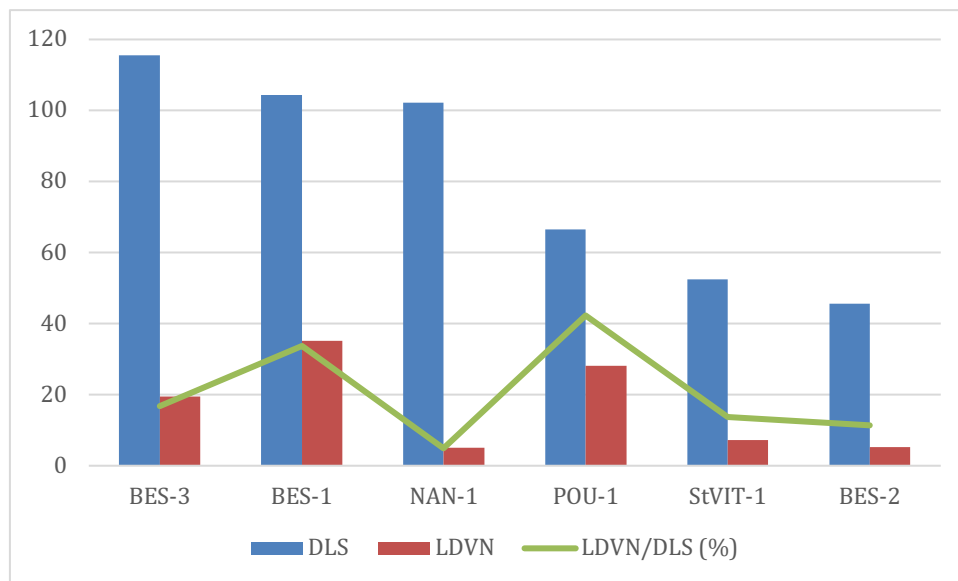


Figure n°3 - Histogramme des valeurs de diversité

Deux localités (BES-1 et POU-1) présentent des valeurs nettement plus élevées de LDVN et du ratio LDVN/DLS par rapport aux autres. La contribution des lichens nitrophiles dans la composition de leurs peuplements est donc élevée et traduit possiblement une réaction à des concentrations plus élevées de produits azotés (oxydes d'azote notamment). Ces deux stations sont les plus en lien avec une circulation automobile intense.

A *contrario*, la station NAN-1 présente la valeur la plus basse de LDVN et du ratio LDVN/DLS et une DLS élevée (toutefois pas la plus élevée) et la richesse en lichen la plus élevée des sites. Cette localité est située à l'écart des grandes voies de circulation et semble peu soumise à la pollution atmosphérique.

Les trois autres stations présentent également des valeurs assez faibles de LDVN et du ratio LDVN/DLS.

BES-3, située dans l'enceinte du lycée Pergaud à proximité du boulevard, présente une diversité lichénique maximum et de faibles valeurs de LDVN et du ratio LDVN/DLS. La haie située entre le boulevard et les arbres semblerait faire assez nettement barrage à la pollution générée par la circulation.

StVIT-1 présente une DLS assez nettement inférieure à la moyenne mais des valeurs de LDVN et du ratio LDVN/DLS également faibles. Par ailleurs, beaucoup de thalles n'étaient pas en bon état sanitaire. Il semble donc y avoir un ou des facteurs qui affectent négativement les lichens dans cette station, mais ils sont pour l'instant difficiles à analyser, des dépôts de particules fines pourraient être en cause.

BES-2 présente la DLS et la richesse la plus faible mais comme StVIT-1 des valeurs de LDVN et du ratio LDVN/DLS également faibles. Les érables semblent souffrir, les thalles des lichens sont en mauvais état et il y a un recouvrement assez important des bryophytes, sur tous les arbres. Comme dans le cas de StVIT-1, il semble donc y avoir un ou des facteurs qui affectent négativement les lichens dans cette station mais ils sont pour l'instant difficiles à analyser : des dépôts de particules fines pourraient être en cause mais il est aussi probable que le fort recouvrement des bryophytes interfère négativement sur la DLS.

Pollution au SO₂

D'après cette méthode basée sur la présence ou l'absence d'espèces plus ou moins polluo-sensibles (au SO₂), toutes les stations montrent une pollution faible ou très faible pour ce facteur.

Amélioration de la connaissance dans le Grand Besançon

L'intérêt de cette démarche dépasse le seul aspect de la qualité de l'air et participe également à l'amélioration de la connaissance. En effet, cet inventaire a permis de découvrir la première station connue de *Ramalina fastigiata* (Pers.) Ach. dans le Doubs (hors protocole grille, à Nancray), alors qu'il est donné comme fréquent en France. Ce lichen fruticuleux (fig. 4) se développe sur les arbres à écorce enrichie des bords de routes, des parcs, dans des endroits bien ventés.

Ce sont également les premières données du Doubs pour *Phaeophyscia endophaenicea* (Harm.) Moberg, mis en évidence sur les stations de la Malcombe (BES-2) et du lycée Pergaud (BES-3). Cette espèce inscrite sur la liste rouge française avec le statut quasi- menacé (NT) n'était auparavant connue que dans trois stations en Franche-Comté, toutes situées dans le département du Jura. Ce lichen se développe préférentiellement en épiphyte sur des mousses. Sa présence témoigne de situations plutôt ombragées et humides.



Figure n°4 - *Ramalina fastigiata* (Pers.) Ach. (J. Amiotte-Suchet).

CONCLUSIONS

Ces premiers résultats sont cohérents avec ceux obtenus avec les mêmes méthodes dans d'autres régions comme en plaine d'Alsace (Di Pol, 2018). Ils sont par ailleurs globalement conformes aux situations observées, avec les résultats les plus faibles dans les stations les plus potentiellement exposées à la pollution de l'air (due au trafic routier notamment) et les plus élevés dans les stations semblant les mieux protégées de la circulation.

Les résultats dans deux stations sont plus compliqués à interpréter et pourraient être liés, pour l'une d'entre elle (BES-2) à un problème méthodologique engendré par l'abondance de bryophytes sur les troncs qui provoque « mécaniquement » une baisse de la diversité lichénique. Ce problème a été rencontré à plusieurs reprises lors de la recherche d'arbres susceptibles d'être sélectionnés dans le protocole et a pu être évité (comme le prévoit la méthode) dans la plupart des cas sauf dans le site BES-2.

La chalarose du frêne est une difficulté supplémentaire lors de la sélection des sites potentiellement favorables pour l'application de la méthode. En effet, le frêne est fréquemment planté mais beaucoup d'arbres sont déjà atteints par la maladie et donc susceptibles d'être coupés dans un avenir proche. Nous les avons exclus au maximum de notre échantillonnage, mais dans certains cas nous n'avons pas eu d'autre choix que d'inclure certains arbres qui semblaient encore peu ou non atteints par la maladie.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR, 2008. *Biosurveillance de l'environnement - Détermination d'un indice biologique de lichens épiphytes (IBLE)*. NF X43-903. Afnor Normalisation, 18 p.
- Boucheron C., Martin N., 2019. *Estimation de la qualité de l'air par l'étude des lichens épiphytes bio-indicateurs sur le Pays du Bocage Vendéen*. CPIE Sèvre et Bocage, 102 p.
- Canova G., D'Orchymont Q., Gaffiot A., Jeveau A., 2013. *Biosurveillance de la qualité de l'air sur l'agglomération de Besançon à l'aide de l'étude des lichens épiphytes*. Licence professionnelle espaces naturels, Besançon. 23 p. + annexes.
- Di Pol, N., 2018. *Évaluation de la diversité des lichens épiphytes sur le territoire de cinq communes de la plaine d'Alsace. Étude de faisabilité de la mise en œuvre d'une méthode de biosurveillance suivant la norme NF EN 16413*. Rapport, Atmo Grand-Est, 65 p.

- Duflo C., 2020. Mise en place d'un protocole d'utilisation des lichens comme bio-indicateurs de la qualité de l'air. Résultats préliminaires. Rapport d'expertise, CBNFC-ORI, 5 p.
- Roux C. et al., 2020. *Catalogue des lichens et champignons lichénicoles de France métropolitaine*. 3e édition revue et augmentée (2020). Édit. Association française de lichénologie (AFL), Fontainebleau, 1769 p.
- Van Haluwyn C., Asta J., 2013. *Guide des lichens de France. Lichens des arbres*. Editions Belin, 239 p.
- Van Haluwyn C. & Lerond M., 1986. *Application d'une nouvelle méthodologie à la cartographie de la pollution atmosphérique de la moitié nord de la France*. Ministère de l'Environnement et de la Recherche, Rapport de fin de contrat n°82, 130 p.

Sites internet :

- <https://www.atmo-bfc.org> (déc. 2021)
- <http://dryades.units.it/italic> (janv. 2022) : The Information System on Italian Lichens. Version 6.0. University of Trieste, Dept. of Biology (Nimis P.L. & Martellos S.)
- <http://www.afl-lichenologie.fr/> (janv. 2022)

Base de données : ©Taxa – SBFC - CBNFC- ORI