

Biosurveillance  
lichénique de la vallée  
de l'Arve

Campagne 2023

- 2024 -





Le présent rapport est publié sous licence CC-BY-ND

Les données, les interprétations et les images présentes dans ce rapport sont la propriété de l'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, libres d'accès et d'utilisation à condition de citer les références du rapport et d'indiquer la source des données, photos, et graphiques ("Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions").

Il ne sera pas apporté de modifications à la version originale du rapport à des fins de diffusion. L'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions ne pourra être tenu responsable de toute interprétation réalisée par un tiers et qui n'est pas explicitement détaillée dans ce rapport.

Pour citer ce rapport :

Annabelle Austruy, 2024. Biosurveillance lichénique de la Vallée de l'Arve. Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, 30 p.

## Remerciements

L'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions tient à remercier le collectif Coll' Air Pur Santé pour leur sollicitation et leur implication dans la réalisation de cette étude ainsi que la Fondation Patagonia pour son financement. Un grand merci à Muriel Auprince, Mallory Guyon, Djamila Dihili et Michel Duby pour leur accompagnement et leur aide précieuse lors des repérages et la réalisation des campagnes de terrain !

Nous remercions également les membres du Conseil Scientifique de l'Institut Ecocitoyen de Recherche et d'Action Environnementale du Pays du Mont-Blanc pour l'intérêt porté à ces travaux.

# Table des matières

<b>I. Introduction.....</b>	<b>8</b>
<b>II. Matériel et méthode.....</b>	<b>10</b>
II.1. Présentation de la zone d'étude.....	10
II.2. Relevé de bioindication lichénique.....	12
II.2.1. Echantillonnage.....	12
II.2.2. Identification des espèces.....	13
II.2.3. Calcul des indices de pollution.....	13
<b>III. Résultats.....</b>	<b>15</b>
III.1. Diversité et abondance des lichens.....	15
III.2. Cortèges lichéniques.....	19
III.3. Indices de pollution.....	22
<b>IV. Discussion.....</b>	<b>24</b>
IV.1. Flore lichénique alpine.....	24
IV.2. Sources de pollution et impact sur la biodiversité lichénique.....	25
<b>V. Conclusion et perspectives.....</b>	<b>27</b>
<b>VI. Références bibliographiques.....</b>	<b>28</b>

# Index des Figures

<b>Figure 1</b> : Localisation des placettes d'études sur le territoire de la Communauté de Communes Pays du Mont-Blanc (Réalisation A. Austruy, 2024).....	10
<b>Figure 2</b> : Relevé de diversité lichénique à l'aide d'une grille d'observation à Passy-Chedde (PAS1).....	12
<b>Figure 3</b> : Observation microscopique d'une coupe transversale d'apothécie et des structures reproductrices de <i>Amandinea punctata</i> (grossissement 400X).....	13
<b>Figure 4</b> : Répartition des espèces crustacés, foliacés (dont squamuleux) et fruticuleux sur les différentes stations (n=10). .....	17
<b>Figure 5</b> : Nombre d'espèces par arbre relevées sur les différentes stations. La médiane, le minimum et le maximum, le 1er et 3ème quartile et les valeurs extrêmes sont représentés (n = 10).....	19
<b>Figure 6</b> : Cortège lichénique à <i>Pseudevernio furfuraceae</i> observé sur PAS3.....	24
<b>Figure 7</b> : Moyenne journalière en PM10 et PM2,5 relevée à la station de Passy en 2023.....	26

# Index des Tableaux

<b>Tableau 1</b> : Caractéristiques de chaque station d'étude (géolocalisation, altitude, arbre échantillonné, dimensionnement, date de relevé).....	11
<b>Tableau 2</b> : Relevés lichéniques de l'ensemble des espèces rencontrées sur les différentes placettes d'étude avec la fréquence de chaque lichen. Les indices de tolérance à la pollution azotée (NO <sub>2</sub> ) et à la pollution de l'air (To) sont indiqués pour chaque espèce.....	16-17
<b>Tableau 3</b> : Diversité spécifique et abondance lichénique de chaque placette d'étude du territoire de la CCPMB comparées à la diversité et l'abondance moyenne des différentes catégories de territoire (Industriel, Urbain-industriel, Urbain, Rural).....	18
<b>Tableau 4</b> : Indice de pureté atmosphérique (IPA) et Valeur de diversité lichénique (VDL) pour les différentes stations comparées à l'IPA et la VDL moyens des différentes catégories de territoire (Industriel, Urbain-industriel, Urbain, Rural) de la Métropole Aix-Marseille-Provence.....	22

# Glossaire

**Acidophile** : espèce qui se développe sur un support à pH acide.

**Aérohyrophile** : espèce qui privilégie une atmosphère humide pour se développer.

**Aéroxérophile** : espèce qui peut se développer dans un milieu à air sec, pauvre en vapeur d'eau.

**Anémophile** : espèce dont la pollinisation est effectuée par le vent.

**Astégophile** : espèce qui privilégie des endroits exposés aux pluies.

**Basophile** : espèce qui se développe sur un support à pH basique (alcalin).

**Héliophile** : espèce qui affectionne les milieux fortement éclairés.

**Hygrophile** : espèce qui préfère ou exige des milieux humides.

**Neutrophile** : espèce qui se développe sur un support à pH neutre.

**Nitrotolérant** : espèce qui peut se développer en milieu riche en azote.

**Nitrophile** : espèce qui nécessite un milieu riche en azote.

**Nitrophobe** : qualifie une espèce ne supportant pas un substrat riche en nitrates.

**Ombrophile** : espèce qui se développe dans un climat pluvieux.

**Photophile** : espèce qui affectionne les milieux modérément éclairés.

**Phytosociologie** : étude des associations végétales, dans le cas présent des espèces lichéniques.

**Pruineuse** : surface couverte de pruine. La pruine (du latin *pruina*, givre) est une couche cireuse et légèrement poudreuse qui recouvre la surface d'un organe, végétal ou animal.

**Stégophile** : espèce qui privilégie des endroits protégés des pluies.

**Toxiphobe** : espèce très sensible à la pollution de l'air.

**Toxitolérant** : espèce qui peut se développer dans un environnement pollué.

**Xérophile** : espèce qui tolère des environnements extrêmement secs.

# I. INTRODUCTION

Les territoires de la vallée de l'Arve accueillent de nombreux sites industriels (décolletage et autres traitements de métaux, incinération d'ordures ménagères...), un réseau autoroutier dense, des activités agricoles et de nombreuses habitations dotées de systèmes de chauffage au bois. Face au nombre, à la diversité et à l'intensité des sources atmosphériques, les citoyens s'interrogent sur l'effet des émissions sur la santé et sur l'environnement.

La qualité de l'air est suivie par le réseau de surveillance de la qualité de l'air, qui effectue la mesure des paramètres d'expositions définis dans le cadre de la réglementation. Mais cette surveillance apporte peu d'information sur les impacts de ces expositions.

Afin de répondre aux interrogations citoyennes, l'Institut Ecocitoyen pour la Connaissance des Pollutions (IECP) a été mandaté par le collectif Coll'Air Pur Santé pour réaliser une étude complémentaire de biosurveillance atmosphérique permettant d'observer l'effet des expositions locales sur le vivant.

De nombreux végétaux peuvent être utilisés pour la biosurveillance de la qualité de l'air, soit parce qu'ils présentent une sensibilité à certains polluants atmosphériques, soit parce qu'ils accumulent des polluants de l'air environnant dans leurs tissus (Asta et al., 2002 ; Castell, 2009 ; Agnan, 2013 ; Ratier et al., 2018). En effet, les caractéristiques biologiques des lichens (absence de racine, absence de cuticule de protection, absence d'un système d'excrétion et activité quasi annuelle), les rendent fortement dépendant de l'atmosphère, les exposant aux polluants atmosphériques, mais peu ou pas dépendant des sols ni de leurs supports. Ainsi, suivant leur sensibilité face aux polluants, ils seront peu diversifiés dans des zones fortement polluées, alors qu'à l'inverse ils seront diversifiés dans des régions non polluées. De par cette sensibilité, la biodiversité des lichens est utilisée comme témoin de la qualité de l'air en tant que bioindicateurs. De même, les lichens, se nourrissant exclusivement des nutriments de l'air, peuvent être utilisés pour des mesures de bioaccumulation des polluants atmosphériques permettant d'obtenir des données d'expositions atmosphériques des territoires pour divers familles de polluants.

Il existe deux normes de biosurveillance par les lichens :

- NF X43-904 (AFNOR, 2013), intitulée « Biosurveillance de l'air - Biosurveillance passive de la qualité de l'air à l'aide des lichens autochtones : de la récolte à la préparation des échantillons » ;
- NF EN 16413 (AFNOR-CEN, 2014), intitulée « Biosurveillance à l'aide de lichens - Évaluation de la diversité des lichens épiphytes ».

L'IECP a engagé depuis 2011 une biosurveillance lichénique complète sur le territoire de la Métropole Aix-Marseille-Provence (MAMP) incluant la zone industrialo-portuaire (ZIP) de Fos ainsi que les villes alentours, afin d'établir une vision intégrée de la pollution de l'air à l'aide des lichens. Les résultats des premières

campagnes de bioaccumulation lichénique ont été rapportés en détails dans plusieurs documents écrits ces dernières années (<http://www.institut-ecocitoyen.fr/publication.php>). Ce dispositif est complété par le suivi de la biodiversité lichénique de 51 stations réparties à travers le territoire de la MAMP (<http://www.institut-ecocitoyen.fr/page.php?idp=6&idt=1>). Ce suivi, réalisé depuis plus de 10 ans, fournit une quantité d'informations conséquente, mettant en évidence d'importants contrastes de diversité et d'abondance lichénique suivant le contexte géographique des sites d'études (industriel, urbain-industriel, urbain, rural) (Dron et al., 2016 ; Ratier et al., 2018 ; Austruy, 2018).

Le travail mis en place dans la vallée de l'Arve consiste à réaliser une étude de biosurveillance lichénique sur le Territoire de la Communauté de Communes du Pays du Mont-Blanc (CCPMB) par la réalisation de relevés de bioindication lichénique sur 4 sites répartis sur 3 communes : Passy (2 sites), Saint-Gervais-les-Bains (1 site) et Sallanches (1 site).

Ce rapport présente les résultats de bioindication lichénique permettant d'évaluer l'impact de la qualité de l'air sur le vivant. Cette étude pourra être suivie par une action visant à doter des personnes volontaires de la compétence de formation à ce type d'observation, afin de préfigurer la création à terme d'un observatoire citoyen de l'environnement, éventuellement coordonné par l'Institut Ecocitoyen pour la Recherche et l'Action Environnementale (IERAE) du Pays du Mont Blanc.

## II. MÉTHODOLOGIE

### II.1. Présentation de la zone d'étude

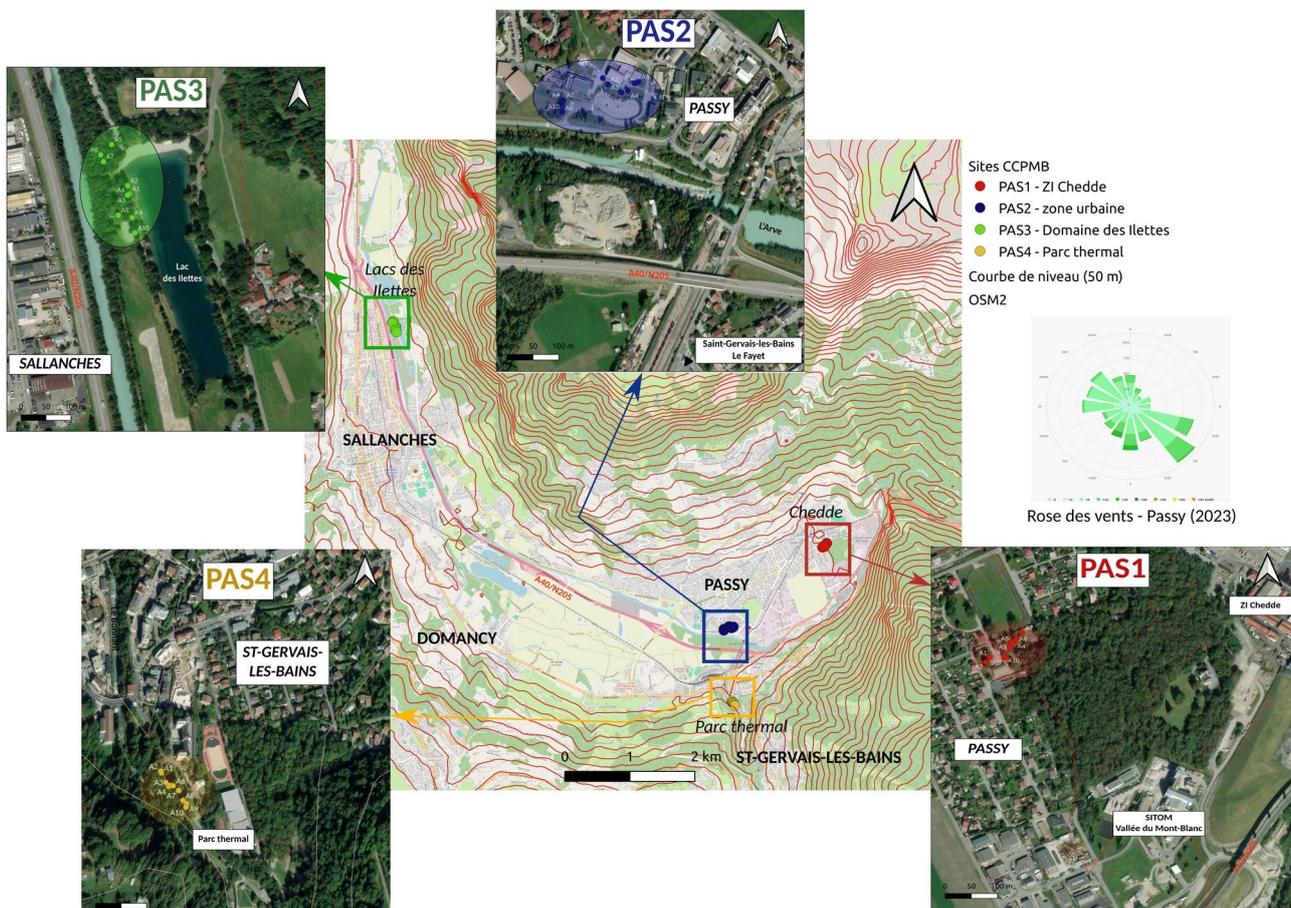


Figure 1 : Localisation des placettes d'études sur le territoire de la Communauté de Communes Pays du Mont-Blanc (Réalisation A. Austruy, 2024)

Cette étude a été réalisée sur le territoire de la Communauté de Communes Pays du Mont-Blanc (CCPMB) dans la vallée de l'Arve.

La vallée de l'Arve est une vallée alpine de 105 km de long, compacte et encaissée, située au pied du Massif du Mont-Blanc (Haute-Savoie, France). Elle héberge les deux tiers de l'activité française de décolletage et abrite en fond de vallée la zone industrielle de Chedde, composée notamment d'un incinérateur d'ordures ménagères (capacité d'incinération de 60 000 t/an en 2021) et d'un site chimique spécialisé dans la production de graphite. Traversée par l'autoroute A40 qui rejoint le tunnel du Mont-Blanc, un fort trafic routier est relevé dans cette vallée avec près de 600 000 camions et 1,2 million de véhicules légers par an (ATMB, 2022). Enfin, cette vallée est fortement urbanisée avec une population de près de 100 000 habitants en 2021 (INSEE, 2024), notamment concentrée autour des principaux centres urbains de la vallée tels que Passy, Sallanches, Saint-Gervais-les-Bains ou Chamonix.

Le contexte météorologique est caractérisé par des vents dominants de secteurs SE et NO relativement faibles sur l'année. Des inversions thermiques sont observées en hiver et peuvent être à l'origine de pics de pollution. Il s'agit d'un phénomène aérologique fréquent dans les régions montagneuses qui se produit en situation anticyclonique et qui correspond à un blocage de l'air froid, plus lourd, en fond de vallée par une couche d'air chaud située au-dessus. Elle est considérée comme l'une des vallées alpines les plus froides en hiver.

Des relevés de diversité lichénique ont été menés sur 4 stations réparties sur les communes de Passy (2), Saint-Gervais-les-Bains (1) et Sallanches (1) (Figure 1) :

- PAS1 est situé à Passy dans un jardin public en secteur résidentiel à environ 400 m à l'ouest de la zone industrielle de Chedde et à 600 m au nord-est de l'autoroute A40/N205 qui longe l'Arve.
- PAS2 est un site urbain localisé à Passy à proximité de la salle Parvis des Fiz, regroupant salle des fêtes, collège et terrains de sports, à environ 200 m au nord de l'autoroute A40.
- PAS3 appartient au Domaine des Ilettes sur la commune de Sallanches. La placette est située entre le lac des Ilettes et l'Arve à environ 150 m à l'ouest de l'autoroute A40.
- PAS4 est localisé dans le Parc Thermal du Fayet à Saint-Gervais-les-Bains au bord du ruisseau le Bon Nant à une altitude d'environ 600 m.

Tous les sites sont localisés à une altitude comprise entre 500 et 600 m et ont été sélectionnés dans une zone végétalisée (parc urbain, espace vert, parc thermal). Le Tableau 1 présente les principales caractéristiques de chaque station.

Tableau 1 : Caractéristiques de chaque station d'étude  
(géolocalisation, altitude, arbre échantillonné, dimensionnement, date de relevé)

Sites	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Dimension (m)	Arbres échantillonnés	Date de relevé
PAS1	6,722680	45,924855	600	95*20	<i>Quercus pubescens</i> (5), <i>Populus alba</i> (1), <i>Betula sp.</i> (4)	25/07/23
PAS2	6,704339	45,913416	580	160*45	<i>Ostrya carpinifolia</i> (6), <i>Populus alba</i> (4)	26/07/23
PAS3	6,637054	45,955891	530	145*40	<i>Betula sp.</i> (6), <i>Fraxinus excelsior</i> (4)	27/07/23
PAS4	6,704310	45,902885	600	90*15	<i>Tilia europea</i> (10)	29/05/24

A noter, une répartition relativement homogène des essences d'arbres à écorces lisses et rugueuses sur chaque station exceptée sur la placette PAS4 sur laquelle seuls les tilleuls, présentant une écorce lisse, étaient présents. Le type d'écorce peut faciliter le développement de certains types de lichens, ainsi les écorces rugueuses sont plus favorables aux lichens foliacés alors que les écorces plus lisses facilitent l'installation des lichens crustacés (Van Haluwyn, 2010).

## II.2. Relevé de bioindication lichénique

Un relevé de bioindication lichénique consiste à réaliser un relevé de flore lichénique, c'est-à-dire de déterminer l'ensemble des espèces présentes et leur fréquence d'apparition. Le calcul de différents indices permet d'obtenir des échelles de mesure de la qualité de l'air correspondantes.

### II.2.1. Echantillonnage

L'échantillonnage est réalisé selon la norme européenne EN 16413. Il s'effectue sur dix arbres, exclusivement des feuillus, en diversifiant les espèces d'arbres (phorophytes) afin d'améliorer la représentativité de la diversité lichénique. Les arbres choisis doivent avoir une circonférence du tronc compris entre 50 et 250 cm et une inclinaison maximale de 20 °.



Figure 2 : Relevé de diversité lichénique à l'aide d'une grille d'observation à Passy-Chedde (PAS1)

Le relevé est effectué sur les quatre faces de chaque arbre à l'aide d'une grille d'observation composée de cinq mailles de 10 x 10 cm superposées verticalement (Figure 2). Pour éviter l'influence du sol, la grille est placée à au moins 1 m de hauteur.

Pour déterminer la fréquence de chaque espèce lichénique, la présence ou l'absence de ces dernières dans les différentes mailles de la grille d'observation sont notées, soit une fréquence allant de 0 (espèce absente) à 5 (espèce présente dans toutes les mailles). Ces fréquences sont indiquées pour chaque face de l'arbre sur une fiche de terrain où sont également mentionnés le nom du site, les coordonnées GPS de chaque arbre,

les espèces des arbres sur lesquels les relevés sont réalisés et l'orientation des faces, l'altitude ainsi que des observations complémentaires (météo, vent, température). La fréquence de chaque lichen est finalement estimée par rapport à une fréquence maximale de 200.

### II.2.2. Identification des espèces

Lorsqu'elles ne peuvent être identifiées avec certitude sur le terrain, les espèces lichéniques sont récoltées au couteau et conservées dans un sac en plastique. Au laboratoire, une vérification par des observations à la loupe binoculaire (grossissement 5× à 40×, Leica S6D), et au microscope (de 50× à 400×, Zeiss LabA1) pour les structures reproductrices (Figure 3), est réalisée. Des guides de détermination de référence sont utilisés avec des clés de détermination se basant sur des critères morphologiques (Tiévant, 2001 ; Van Haluwyn et al., 2022 ; Dobson, 2011). En complément, des tests chimiques sont utilisés (hydroxyde de potassium, hypochlorite de sodium et paraphénylène diamine) provoquant des réactions colorées selon les acides présents dans les lichens.

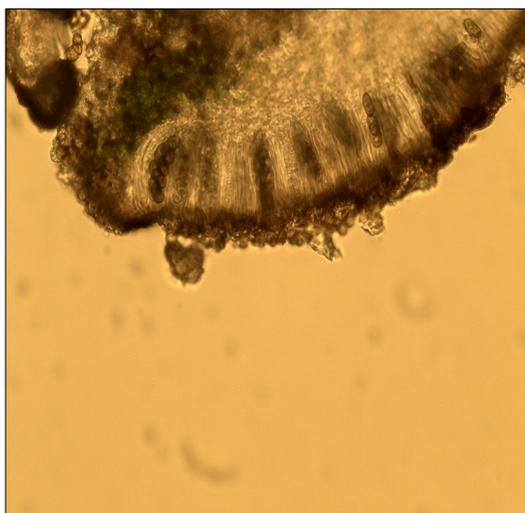


Figure 3 : Observation microscopique d'une coupe transversale d'apothécie et des structures reproductrices de *Amandinea punctata* (grossissement 400X).

### II.2.3. Calcul des indices de pollution

Le traitement des données est réalisé par le calcul d'indices de pollution et notamment l'Indice de pureté atmosphérique (IPA, LeBlanc et Sloover, 1970 ; Deruelle, 1978 ; Gombert et al., 2004) et la Valeur de diversité lichénique (VDL, Asta et al., 2002 ; EN16413, 2012).

L'IPA (Eq. 1) se calcule à partir de la diversité et de l'abondance des espèces rencontrées dans une station et renseigne sur le niveau de pollution de l'air, de très faible (IPA > 150) à très élevé (IPA < 20). Il prend en compte la nature et la sensibilité des espèces présentes.

$$IPA = \frac{1}{10} * \sum_{i=1}^n (Q_i * f_i)$$

Eq. 1

La VDL (Eq. 2) est basée sur la somme des fréquences des espèces lichéniques rencontrées sur une placette. Elle illustre plus spécifiquement l'abondance lichénique de chaque station. Cette approche a été retenue au niveau européen pour réaliser la cartographie de la diversité lichénique (Asta et al., 2002). Elle fait aujourd'hui l'objet d'une norme européenne pour les méthodes de biosurveillance de la qualité de l'air par les lichens (EN 16413, 2014).

$$VDL = \sum_{i=1}^n f_i$$

Eq. 2

avec  $i$ , espèce lichénique

$n$ , le nombre d'espèces dans la station

$Q_i$ , indice écologique de l'espèce  $i$

$f_i$ , le coefficient de recouvrement de l'espèce  $i$  (de 1, rare, à 5, abondant).

L'indice écologique d'une espèce ( $Q_i$ ) est déterminé empiriquement à partir du nombre d'espèces accompagnantes sur tous les sites étudiés, divisés par le nombre total de sites. L'ensemble des sites étudiés considérés intègre les sites de la Métropole Aix-Marseille-Provence (51) pour obtenir un indice établi à partir d'un nombre suffisant de relevés (55).

## III. RÉSULTATS

### III.1. Diversité et abondance des lichens

D'un point de vue floristique, cette étude a permis d'identifier 42 taxons sur l'ensemble des 4 placettes réparties sur le territoire de la CCPMB. Douze espèces sont présentes sur l'ensemble des stations, les plus abondantes étant *Buellia griseovirens*, *Candelariella reflexa*, *Candelaria concolor*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia adscendens*, *Parmelia sulcata*, *Parmelina pastillifera* ou *Xanthoria parietina* (Tableau 2).

Les lichens foliacés sont les plus représentés sur l'ensemble des stations, excepté à PAS1, où les lichens crustacés sont légèrement majoritaires et regroupent un plus grand nombre d'espèces (50,9 % et 11 espèces crustacés relevées contre 48,0 % et 10 espèces foliacées) (Figure 4). Sur l'ensemble du territoire de la CCPMB, les lichens crustacés, plus toxitolérants\*, présentent le plus grand nombre d'espèces (19 espèces de crustacés, 17 espèces de foliacés, 5 espèces de fruticuleux et 1 espèce de squamuleux). Bien que des individus aient été observés dans chaque station, une faible proportion de lichens fruticuleux est relevée pour l'ensemble des stations. Le site PAS4 est le plus riche en lichens fruticuleux, où ils représentent près de 4 % des espèces.

Dans le détail, une plus forte proportion d'espèces nitrophiles\* est observée sur PAS1 et PAS2 (respectivement 34,0 et 46,3 %) par rapport à PAS3 et PAS4 (respectivement 31,9 et 19,5 %). De même, pour les espèces toxitolérantes\*, une plus forte abondance est relevée sur PAS1 et PAS2 (respectivement 21,1 et 33,9 %) que sur PAS3 et PAS4 (respectivement 18,4 et 9,9 %). Sur l'ensemble du territoire, seules trois espèces nitrophobes\* sont présentes (*Hypotrachyna afrorevoluta*, *Normandina pulchella* et *Caloplaca ferruginea*) en très faible abondance sur PAS2, PAS3 et PAS4 (< 3 %). De même, très peu abondante sur PAS1 (< 5 %), les espèces toxiphobes\* représentent près de 20 % des espèces sur les trois autres sites.

A noter que sur les stations PAS1 et PAS2, seuls des individus juvéniles ont été observés pour les lichens fruticuleux (*Usnea sp.* et *Pseudevernia furfuracea*) et certains foliacés (*Parmelina pastillifera* et *Pleurosticta acetabulum*). De même, sur l'ensemble des stations, mais plus particulièrement à PAS1 et PAS2, de nombreuses nécroses ont été relevées sur les lichens foliacés, pouvant expliquer une plus faible représentation des lichens adultes sur ces stations.

Tableau 2 : Relevés lichéniques de l'ensemble des espèces rencontrées sur les différentes placettes d'étude avec la fréquence de chaque lichen. Les indices de tolérance à la pollution azotée (NO<sub>2</sub>) et à la pollution de l'air (To) sont indiqués pour chaque espèce. Leur échelle varie de 1 (faible tolérance) à 3 (tolérance élevée).

Espèces	NO <sub>2</sub>	To	PAS1	PAS2	PAS3	PAS4	Abondance totale	Nombre stations
<i>Acrocordia gemmata</i>	2	2	0,735		0,030		<b>0,765</b>	<b>2</b>
<i>Alyxoria lichenioides</i>	2	2	0,265		0,055		<b>0,320</b>	<b>2</b>
<i>Amandinea punctata</i>	3	3		0,075			<b>0,075</b>	<b>1</b>
<i>Anisomeridium biforme</i>	2	2	0,370				<b>0,370</b>	<b>1</b>
<i>Arthonia punctiformis</i>	2	1		0,355	0,220	0,060	<b>0,635</b>	<b>3</b>
<i>Buellia griseovirens</i>	2	2	0,305	0,120	0,305	0,390	<b>1,120</b>	<b>4</b>
<i>Caloplaca cerina</i>	3	2	0,015				<b>0,015</b>	<b>1</b>
<i>Caloplaca ferruginea</i>	1	2		0,010			<b>0,010</b>	<b>1</b>
<i>Candelaria concolor</i>	3	2	0,160	0,355	0,625	0,030	<b>1,170</b>	<b>4</b>
<i>Candelariella reflexa</i>	2	3	0,615	0,830	0,755	0,325	<b>2,525</b>	<b>4</b>
<i>Cliostomum griffithii</i>	2	3	0,015	0,160	0,100	0,050	<b>0,325</b>	<b>4</b>
<i>Evernia prunastri</i>	2	2			0,015	0,140	<b>0,155</b>	<b>2</b>
<i>Flavoparmelia caperata</i>	3	2	0,020	0,005	0,040	0,015	<b>0,080</b>	<b>4</b>
<i>Graphis pulverulenta</i>	2	2			0,020		<b>0,020</b>	<b>1</b>
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	3	2			0,090	0,015	<b>0,105</b>	<b>2</b>
<i>Hypogymnia physodes</i>	2	2	0,360			0,015	<b>0,375</b>	<b>2</b>
<i>Hypotrachyna afrorevoluta</i>	1	1		0,100	0,040		<b>0,140</b>	<b>2</b>
<i>Lecanora argentata</i>	2	2			0,280	0,760	<b>1,040</b>	<b>2</b>
<i>Lecanora chlarotera</i>	3	2	0,020	0,255			<b>0,275</b>	<b>2</b>
<i>Lecanora expallens</i>	2	3	0,080			0,015	<b>0,095</b>	<b>2</b>
<i>Lecidella elaeochroma</i>	2	2	0,005	0,145	0,140	0,530	<b>0,820</b>	<b>4</b>
<i>Lepra albescens</i>	2	1		0,045	0,110	0,245	<b>0,400</b>	<b>3</b>
<i>Melanelixia glabratula</i>	2	1	0,175	0,140	0,155	0,460	<b>0,930</b>	<b>4</b>
<i>Normandina pulchella</i>	1	2			0,080	0,025	<b>0,105</b>	<b>2</b>
<i>Ochrolechia subviridis</i>	2	2	0,110	0,070	0,115	0,085	<b>0,380</b>	<b>4</b>
<i>Parmelia sulcata</i>	2	2	0,100	0,185	0,220	0,560	<b>1,065</b>	<b>4</b>
<i>Parmelina pastillifera</i>	2	1	0,075	0,240	0,255	0,225	<b>0,795</b>	<b>4</b>
<i>Pertusaria pertusa</i>	2	2			0,035		<b>0,035</b>	<b>1</b>
<i>Phaeophyscia ciliata</i>	2	2			0,085		<b>0,085</b>	<b>1</b>

<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	3	3	0,340	0,520	0,140	0,135	<b>1,135</b>	<b>4</b>
<i>Phlyctis argena</i>	2	2			0,415	0,090	<b>0,505</b>	<b>2</b>
<i>Physcia adscendens</i>	3	2	0,395	0,670		0,755	<b>1,820</b>	<b>3</b>
<i>Physcia tenella</i>	3	2			0,605		<b>0,605</b>	<b>1</b>
<i>Physconia distorta</i>	2	2	0,020	0,080		0,060	<b>0,160</b>	<b>3</b>
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	2	1		0,005		0,025	<b>0,030</b>	<b>2</b>
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	2	2	0,050	0,005	0,010		<b>0,065</b>	<b>3</b>
<i>Punctelia jeckeri</i>	2	2		0,020	0,235	0,145	<b>0,400</b>	<b>3</b>
<i>Ramalina farinacea</i>	2	2			0,010	0,025	<b>0,035</b>	<b>2</b>
<i>Ramalina fraxinea</i>	2	1				0,010	<b>0,010</b>	<b>1</b>
<i>Usnea sp.</i>	2	2	0,005			0,025	<b>0,030</b>	<b>2</b>
<i>Xanthoria candelaria</i>	3	2		0,010	0,010		<b>0,020</b>	<b>2</b>
<i>Xanthoria parietina</i>	3	2	0,745	0,270	0,215	0,080	<b>1,310</b>	<b>4</b>

En violet : lichens crustacés, en bleu : lichens foliacés, en bleu foncé : lichen squamuleux, en vert : lichens fruticuleux.

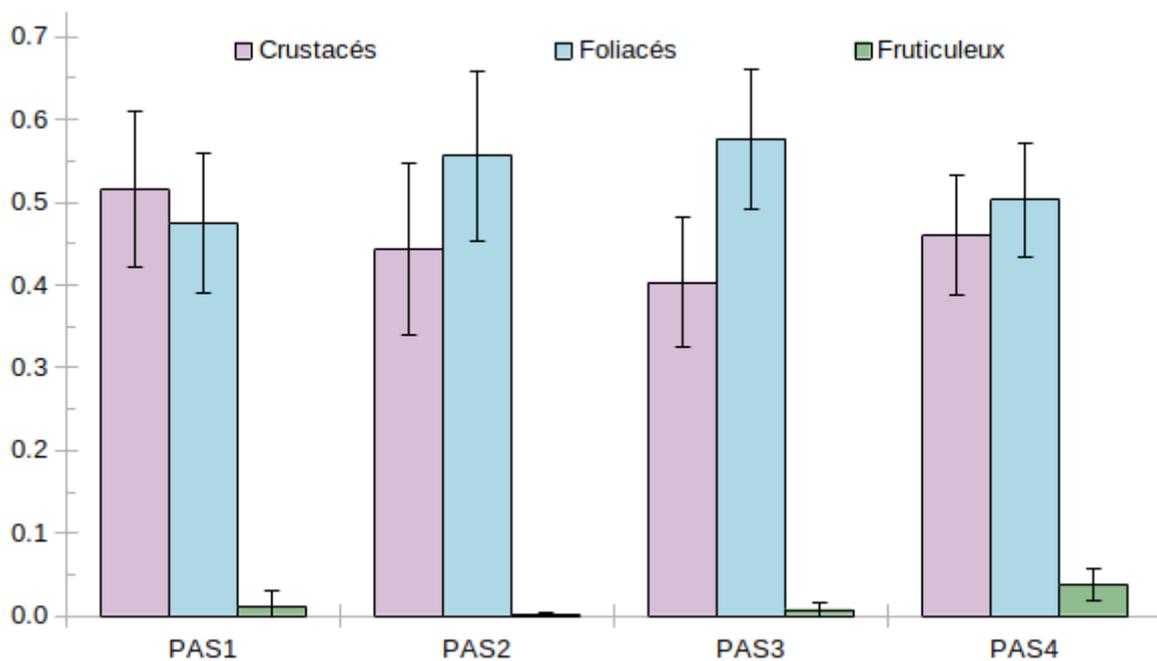


Figure 4 : Répartition des espèces crustacés, foliacés (dont squamuleux) et fruticuleux sur les différentes stations (n=10).

La diversité spécifique (Tableau 3) montre une diversité relativement élevée sur l'ensemble des stations, comprise entre 23 (PAS1) et 30 espèces (PAS3). Pour comparaison, une moyenne de 19 espèces est enregistrée sur les 51 stations d'étude réparties sur le territoire de la Métropole Aix-Marseille-Provence

(Austruy, 2018). Cette diversité spécifique est comparable à la diversité observée par l'IECP sur des parcelles de zones rurales et agricoles (comprises pour ces contextes environnementaux entre 18 et 30 espèces par station). De même, l'abondance totale des lichens mesurée sur les 4 stations est relativement élevée avec la plus forte abondance mesurée à PAS3 aux Lacs des Ilettes (5,41) et la plus faible dans le centre ville de Passy à PAS2 (4,67). Pour comparaison, l'abondance moyenne relevée sur les stations localisées dans la MAMP est de 3,92 contre 5,10 pour les stations de la CCPMB.

En comparant les 4 stations d'étude de la CCPMB, une diversité et une abondance significativement plus importante est enregistrée sur PAS3 et PAS4 par rapport à PAS1 et PAS2. Aucune différence significative n'est relevée entre PAS3 et PAS4 et entre PAS1 et PAS2.

Tableau 3 : Diversité spécifique et abondance lichénique de chaque placette d'étude du territoire de la CCPMB comparées à la diversité et l'abondance moyenne des différentes catégories de territoire (Industriel, Urbain-industriel, Urbain, Rural).

STATIONS	Diversité (nombre d'espèces)	Abondance
PAS1	23	4,98
PAS2	24	4,67
PAS3	30	5,41
PAS4	28	5,30
Moyenne territoire CCPMB (4)	26	5,10
Moyenne territoire MAMP (51)	19	3,92
Industriel (5)	12	2,54
Urbain-Industriel (14)	17	3,27
Urbain (18)	19	4,17
Rural & agricole (14)	22	4,73

\*Moyenne sur l'ensemble des stations échantillonnées par l'IECP selon la catégorie (nombre de stations par catégorie)

Le nombre d'espèces par arbre enregistré sur les différentes stations (Figure 5) confirme une richesse spécifique significativement plus importante sur les stations PAS3 et PAS4 comparés à PAS1 et PAS2.

Au regard de ces résultats, une diversité et une abondance spécifique significativement plus importantes sont mesurées sur les stations PAS3 et PAS4 par rapport aux stations PAS1 et PAS2, confirmant un plus faible impact de la qualité de l'air sur la biodiversité lichénique à Sallanches et au parc thermal du Fayet (PAS3 et 4) que sur la commune de Passy (PAS1 et 2).

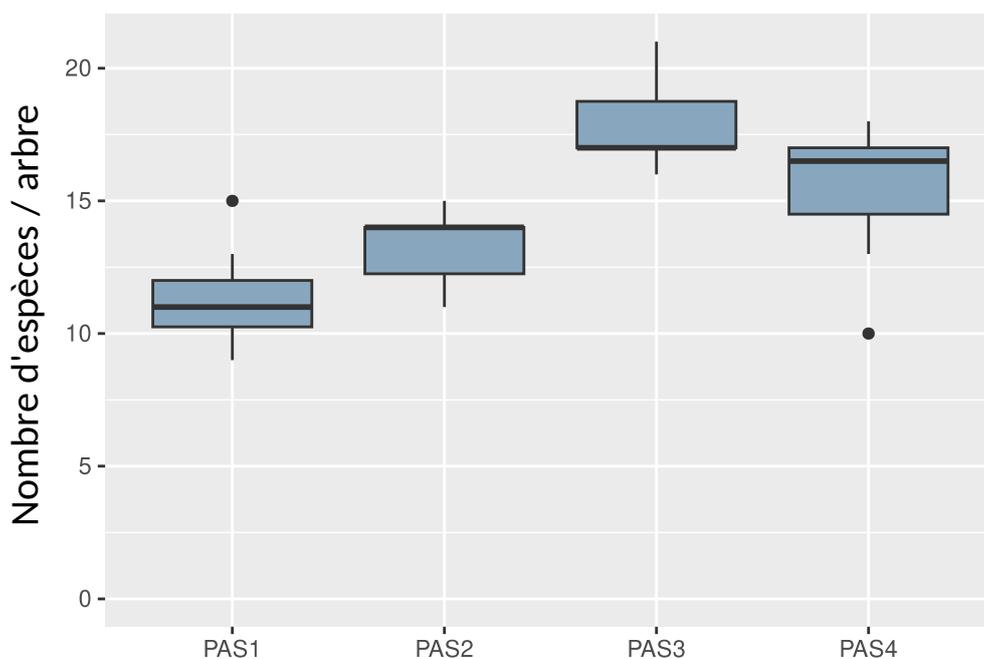


Figure 5 : Nombre d'espèces par arbre relevées sur les différentes stations. La médiane, le minimum et le maximum, le 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartile et les valeurs extrêmes sont représentés (n = 10).

### III.2. Cortèges lichéniques

Au-delà de l'approche fondamentale, la phytosociologie\* offre une démarche prédictive pour une meilleure connaissance des milieux (Van Haluwyn, 2010). À partir des caractéristiques écologiques d'un milieu, les combinaisons d'espèces présentes peuvent être anticipées. Inversement, une combinaison d'espèces observées dans un milieu peut aider à en définir les caractères écologiques. La non correspondance entre les associations lichéniques relevées et les caractéristiques du milieu peut permettre d'identifier des problématiques sur le mode de gestion ou les perturbations anthropiques impactant cet environnement.

Les principaux cortèges lichéniques identifiés sur les placettes localisées dans la CCPMB sont présentés ci-dessous (Van Haluwyn, 2010).

#### **Lecanoretum carpineae montanum (Barkman, 1958) / Lecanorion subfuscae (Ochsner, 1928) : observé sur les 4 sites**

Taxons caractéristiques : divers *Lecanora* et *Arthonia*, *Caloplaca cerina*, *Lecidella elaeochroma*

Cortège pionnier rencontré principalement sur l'écorce lisse de jeunes troncs de feuillus en milieu forestier, il regroupe une communauté de lichens crustacés nitrotolérante\* et toxitolérante\*. Sur les arbres isolés de bord de route, la sous-association à *Candelariella sp.*, *Amandinea punctata*, *Physcia adscendens* et *Xanthoria parietina* peut également être rencontrée. Composée d'espèces photophiles\*, cette association est décrite entre 400 et 800 m d'altitude dans les Alpes françaises et suisses.

#### **Pertusarietum amarae (Hilizer, 1925 ; Barkman, 1958) : observé sur PAS3 et PAS4**

Taxons caractéristiques : divers *Pertusaria* dont *Pertusaria amara* et *P. pertusa* et divers *Ochrolechia*.

Association modérément stégophile\* colonisant les parties moyennes des troncs de chênes et de hêtres dans les zones les plus éclairées et humides des forêts (Van Haluwyn, 2010). Trois variantes sont décrites dont une variante montagnarde caractérisée par l'abondance de *Phlyctis argena* et l'absence de *Pertusaria coccodes*, elle est particulièrement bien développée à l'étage montagnard et souvent associée à divers taxons de *Parmelia*. Dans les zones à faible pluviométrie, l'association se développe sur des écorces épaisses, lisses ou légèrement rugueuses de différents feuillus.

#### **Physcietalia adscendentis (Frey et Ochsner, 1926) : observé sur les 4 sites**

Taxons caractéristiques : *Physcia adscendens*, *P. tenella*, *P. stellaris*, *P. aipolia*, *P. leptalea*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physconia distorta*, *P. grisea*, *Xanthoria parietina*

La physionomie est largement dominée par les espèces du genre *Physcia*, *Physconia* et *Xanthoria* et plus particulièrement les espèces à marge ciliée et/ou à surface pruineuse\*.

Ce groupement est souvent considéré comme très riche en espèces (parfois plus de 30 espèces sur un même tronc) mais il peut présenter une grande variabilité d'un arbre à l'autre (même si les arbres sont très proches). Il s'agit d'une association neutrophile\* ou légèrement basophile\*, très nitrophile\*, photophile\*, aéroxérophile\* et toxitolérante\*, remplacée dans le temps par les communautés de *Xanthorion parietinae*. Selon Bricaud (2006), en France, ce groupement, caractérisé par son aspect polymorphe, trouve son optimum dans des milieux humides à fortes variations thermiques et sujets à des brouillards fréquents.

#### **Xanthorion parietinae (Barkman, 1958) : observé sur les 4 sites**

Taxons caractéristiques : *Xanthoria parietina*, *X. candelaria*, *Physcia adscendens*, *P. tenella*, *Physconia grisea*, *Candelaria concolor*, *Anaptychia ciliaris* et *Melanelixia glabra*

Selon plusieurs auteurs (Bricaud, 2006 ; Van Haluwyn, 2010), cette communauté d'espèces, regroupant principalement des foliacés, ne définit pas une écologie précise, elle se rencontre dans de nombreux milieux et contextes environnementaux. C'est sa nitrophilie\* et sa préférence pour des écorces neutres à légèrement acides (soit naturellement soit par imprégnation de poussières) qui caractérisent le plus cette alliance, souvent aussi considérée comme astégophile\* et photophile\*.

#### **Xanthorietum candelariae (Barkman, 1958) : observé sur les 4 sites**

Taxons caractéristiques : *Xanthoria candelaria* et *parietina*, *Candelariella* sp., *Amandinea punctata*

Ce cortège présente un caractère photophile\*, héliophile\*, modérément xérophile\*, neutrophile\* ou acidophile\*, nitrophile\* et toxitolérant\*. Il est principalement rencontré sur des arbres isolés et ventés de

bord de chemin ou en lisière de forêt. Une variante montagnarde a été identifiée et regroupe notamment les espèces *Parmelia sulcata* et *Hypogymnia physodes*.

#### **Melanelixietum glabrae (Hofmann, 1993): observé sur les 4 sites**

Taxons caractéristiques : *Melanelixia glabra*, *Parmelia sp.*, *Physcia sp.*

Il s'agit d'une association composée d'espèces foliacées et fruticuleuses, décrite aux étages montagnards inférieur et supérieur. Elle présente un caractère ombrophile\*, aérohygrophile\* et très faiblement nitrotolérant\*. Les fruticuleux (*Evernia prunastri*, *Ramalina farinacea*, *R. fraxinea*) pourraient caractériser une sous-association liée aux sites à très forte humidité atmosphérique comme PAS4.

#### **Pseudevernio furfuraceae - Hypotrachynetum afrorevolutae (Delzenne et Géhu 1978) : observé sur PAS2 et PAS3**

Taxons caractéristiques : *Pleurosticta acetabulum*, *Pseudevernia furfuracea*, *Ramalina farinacea*, *Hypotrachyna afrorevoluta*, *Parmelia sulcata*

Ce cortège est composé principalement de lichens foliacés et fruticuleux, hygrophiles\*, modérément nitrophiles\* et acidophiles\*. Il se rencontre principalement aux étages collinéen et montagnard inférieur du centre et du SE de l'Europe.

#### **Ramalinetum fastigiatae (Duvigneaud 1942) : observé sur PAS4**

Taxons caractéristiques : *Ramalina farinacea*, *R. fastigiata*, *R. fraxinea*.

Ce cortège regroupe principalement des espèces de lichens fruticuleux, de modérément acidophile\* à neutrophile\*, aérohygrophile\*, anémophile\*, photophile\* (lumière diffuse, sans ensoleillement direct), toxiphobe\* et nitrophobe\*. Il est présent sur la côte et dans les montagnes du sud de la France, entre 700 et 1400 m, avec une pluviométrie de 900-1200 mm (Van Haluwyn, 2010).

Au regard des associations lichéniques relevées, seuls les sites PAS3 et PAS4 présentent des associations relativement toxiphobes et nitrophobes, regroupant de nombreux lichens fruticuleux et foliacés. De même, ces deux sites, proches de milieux aquatiques (bordure d'un lac pour PAS3 et bordure d'une rivière pour PAS4), sont riches en espèces aérohygrophiles. Sur PAS1 et PAS2, de nombreux cortèges pionniers sont observés, relevés aussi sur PAS3 et PAS4, accompagnés de l'association à *Melanelixietum glabrae* présentes sur tous les sites.

### III.3. Indices de pollution

Tableau 4 : Indice de pureté atmosphérique (IPA) et Valeur de diversité lichénique (VDL) pour les différentes stations comparées à l'IPA et la VDL moyens des différentes catégories de territoire (Industriel, Urbain-industriel, Urbain, Rural) de la Métropole Aix-Marseille-Provence.

Stations	IPA	VDL
PAS1	126,5	99,6
PAS2	128,5	93,4
PAS3	173,8	108,2
PAS4	143,6	105,9
Moyenne territoire CCPMB (4)	143,1	101,8
Moyenne territoire MAMP (51)*	85,5	78,3
Industriel (5)*	53,2	50,3
Urbain-Industriel (14)*	77,6	65,5
Urbain (18)*	87,2	83,3
Rural & agricole (14)*	102,7	94,5

\*Moyenne sur l'ensemble des stations échantillonnées par l'IECP selon les catégories (nombre de stations par catégorie)

Le calcul d'indices de pollution et notamment l'Indice de pureté atmosphérique (IPA, LeBlanc et Sloover, 1970 ; Deruelle, 1978 ; Gombert et al., 2004) et la Valeur de diversité lichénique (VDL, Asta et al., 2002 ; EN16413, 2014) permet d'évaluer qualitativement le niveau de pollution de l'air d'un milieu.

L'IPA reflète principalement la diversité des espèces en prenant en compte leur nature et leur sensibilité. Il renseigne sur un niveau de pollution de l'air, de très faible (IPA > 150) à très élevé (IPA < 20). La VDL est basée sur la somme des fréquences des espèces lichéniques rencontrées sur une placette, elle illustre plus spécifiquement l'abondance lichénique de chaque station (Asta et al., 2002). L'IPA et la VDL sont appliqués dans différents contextes environnementaux tels que les zones urbaines, les zones périurbaines, les zones rurales, les zones industrielles, les zones forestières ou les zones agricoles (Das, 2022). Ces indices permettent d'évaluer la pollution atmosphérique et aident à cartographier et à zoner les régions autour des sources de pollution avec un gradient.

L'IPA mesuré sur les différentes placettes du territoire de la CCPMB est supérieur à 100 et atteint 173,8 sur PAS3, il illustre une bonne qualité de l'air en général sur le secteur. La VDL de chaque station, supérieur à 90 sur l'ensemble des stations et dépassant 100 sur PAS3 et PAS4 confirme un niveau de pollution relativement faible. Comme pour la diversité et l'abondance lichénique, des valeurs de l'IPA et de la VDL plus élevées, synonyme d'une meilleure qualité de l'air, sont mesurées sur les sites PAS3 et PAS4 par rapport à PAS1 et PAS2. Ces résultats confirment un impact plus marqué de la qualité de l'air sur PAS1 et PAS2 par rapport à

PAS3 et PAS4. Les différences plus marquées entre les sites relevées pour l'IAP par rapport à la VDL mettent en évidence un plus fort impact de la qualité de l'air sur les niveaux de diversité. L'abondance totale des espèces, dont les écarts sont moins élevés entre chaque station, peut être influencée par un développement plus important des espèces toxitolérantes\* dans les zones impactées (PAS1 et PAS2) compensée par une plus forte diversité sur les sites moins exposés (PAS3 et PAS4).

Au regard des indices relevés sur la Métropole d'Aix-Marseille-Provence (MAMP), l'IPA mesuré sur les différentes stations de cette étude est proche ou supérieur à l'IPA mesuré sur les stations de milieu rural de la MAMP. A noter, que l'IPA a été calculé en compilant les sites de la CCPMB et les sites de MAMP pour une meilleure représentativité de l'indice écologique calculé pour chaque espèce (Qi). Cependant, cet aspect limite l'interprétation de l'IPA obtenu pour la CCPMB car calculé à partir d'une flore lichénique méditerranéenne alors que les sites d'étude sont localisés en milieu alpin. La multiplication des sites d'observation sur le territoire de la CCPMB permettra une meilleure comparaison avec les résultats obtenus en contexte méditerranéen et affinera ainsi les interprétations. Ainsi, comme relevé par plusieurs auteurs (Gombert et al., 2004 ; Boucheron et Martin, 2019 ; Das, 2022), il est important d'être prudent dans l'utilisation et l'interprétation de l'indice lors de la comparaison d'une étude avec une autre du fait de la forte influence des types et conditions du milieu et des différentes méthodes de calcul pouvant être adaptées selon les contextes environnementaux.

## IV. DISCUSSIONS

### IV.1. Flore lichénique alpine

La flore lichénique relevée sur les différentes stations d'études est caractéristique de la flore alpine décrite par différents auteurs (Roux et al., 2003, 2004, 2020 ; Bricaud, 2004 ; Clerc et Truong, 2008 ; Van Haluwyn, 2010 ; Agnan, 2013 ; Aubert et al., 2019). Ce constat s'exprime notamment par la forte représentation d'espèces caractéristiques de la flore alpine : *Melanelixia glabratula*, *Pseudevernia furfuracea* ou *Hypotrachyna afrorevoluta*, rencontrées sur une majorité de stations (Figure 6). A travers la diversité lichénique, de nombreux cortèges lichéniques ont pu être identifiés et illustrent les associations d'espèces décrites par plusieurs auteurs en Savoie et dans les Alpes du sud (Roux et al., 2004, 2020 ; Van Haluwyn, 2010, Agnan, 2013).

Ainsi, les espèces les plus couramment relevées sont majoritairement nitrophiles et faiblement toxitolérantes\*, caractéristiques déjà observées sur des relevés lichéniques effectués à Bex ou Martigny (Suisse) ou dans le pays de Gex (Jura) (Agnan, 2013). La présence de nombreuses espèces nitrophiles peut témoigner d'une exposition aux émissions du trafic routier, aux oxydes d'azote (NOx) ou à des poussières riches en nitrates d'origine humaine (trafic routier, industrie, combustion de biomasse) (Das, 2022 ; Sebald et al., 2022).

Les différences entre les sites dans la diversité et les cortèges lichéniques relevés montrent l'absence de cortège toxiphobe sur PAS1, contrairement aux autres sites où des cortèges de lichens foliacés et fruticuleux faiblement toxitolérants\* sont identifiés (Figure 6).



Figure 6 : Cortège lichénique à *Pseudevernia furfuracea* observé sur PAS3 (© IECP, 2024)

De plus, sur l'ensemble des sites et plus particulièrement sur PAS1 et PAS2, de nombreuses nécroses ont été observées sur les lichens foliacés souvent accompagnées d'une chlorose (décoloration des thalles). Ces chloroses sont relevées sur la face S-SE des arbres sur PAS1, semblant indiquer l'influence des émissions de la ZI de Chedde sur la physiologie et la croissance lichénique, alors qu'elles sont principalement observées sur la face ouest des arbres de PAS3 et sur la face sud-ouest des arbres de PAS4, semblant mettre en avant respectivement l'impact des émissions du trafic routier et potentiellement des émanations soufrées des thermes du Fayet. Associé à l'observation d'une majorité de lichens juvéniles sur PAS1 et PAS2, ce résultat semble mettre en évidence l'influence des émissions anthropiques, notamment de la ZI de Chedde et du trafic routier, sur la diversité lichénique de ce secteur. Selon de précédentes études (Deruelle, 1982, Asta et al., 2002 ; Gombert et al., 2004), la présence de composés gazeux chlorés et fluorés dans l'atmosphère, comme les composés organiques halogénés volatils (COHV) émis par diverses industries du secteur (décolletage, incinérateur, ...), peuvent causer l'apparition de nécroses à la périphérie et au centre des lichens pouvant limiter l'installation et le développement de certaines espèces sensibles.

## IV.2. Sources de pollution et impact sur la biodiversité lichénique

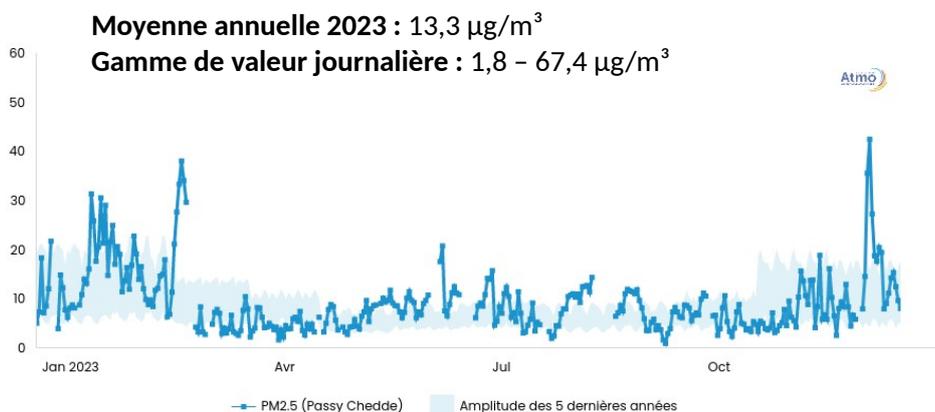
Selon les mesures atmosphériques effectuées par AtmoAura sur la station de Passy en 2023 et présentées dans la Figure 6, une exposition à la pollution en particules fines élevée est relevée dans la vallée principalement en hiver.

Quelques données sont fournies par AtmoAura sur la composition chimique des retombées atmosphériques complétées par les mesures de bioaccumulation dans les végétaux réalisées par Biomonitor en 2022. Ces suivis mettent en évidence des particules chargées en Cu, Pb et Zn à proximité de PAS1 et sur le secteur des Plagnes, potentiellement émises par les émissions industrielles de la ZI de Chedde. D'après ces mesures réalisées dans le cadre des suivis de sites, des teneurs en particules plus faibles sont relevées dans la ZI de Chedde à proximité de PAS1 par rapport au niveau relevé à Passy ville, proche de PAS2. Cependant, aucune mesure n'est disponible dans ce secteur sur les composés gazeux et notamment les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes) et les composés chlorés et fluorés type COHV, pour lesquels des impacts marqués sur le développement et la physiologie des lichens ont déjà été identifiés (Asta et al., 2002, Massimi et al., 2021).

Un autre organisme effectuée dans le cadre des suivis environnementaux de sites industriels de la ZI de Chedde, des mesures de bioaccumulation lichénique autour de la ZI de Chedde et des environs (Aair lichens, 2022), notamment sur les sites correspondant à PAS1 et PAS3, et autour des placettes PAS2 et PAS4. Les résultats de la campagne 2022 montrent des teneurs en métaux relevées sur PAS1 et les sites proches de PAS2 significativement plus élevées que celles mesurées sur PAS3 pour Cu et Zn.

Par ailleurs, des teneurs en métaux et dioxines-furanes enregistrées sur un point au cœur de la ZI de Chedde sont significativement plus élevées par rapport aux autres sites d'étude répartis sur le territoire et mettent en évidence l'impact des émissions industrielles de Chedde sur la qualité de l'air et les niveaux de polluants atmosphériques. Dans ce secteur, les niveaux mesurés pour les métaux et dioxines-furanes sont comparables aux teneurs moyennes relevées dans la ZIP de Fos (Ratier et al., 2018 ; Reuillard, 2023) confirmant la forte exposition de ce secteur et son possible impact sur l'ensemble de la vallée, principalement régulée par les conditions météorologiques.

### particules PM2,5 (PM2.5) - Moyenne journalière



### particules PM10 (PM10) - Moyenne journalière

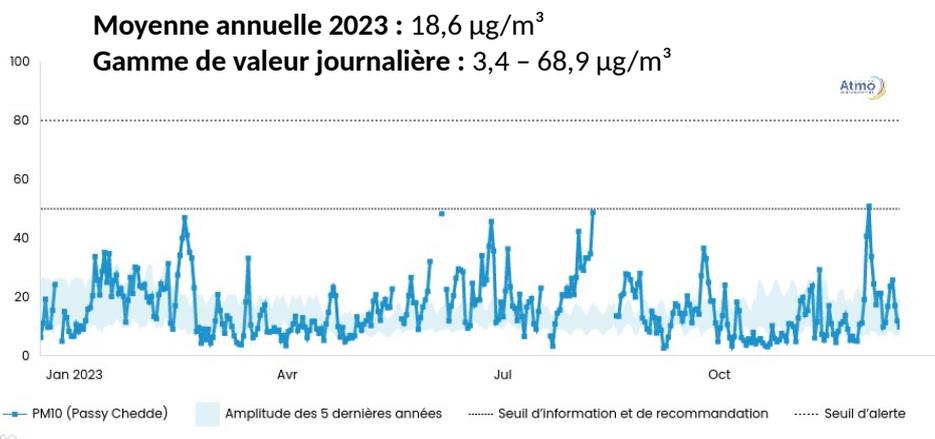


Figure 7 : Moyenne journalière en PM10 et PM2,5 relevée à la station de Passy en 2023 (Atmo AURA, 2024)

## V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La flore lichénique relevée dans la vallée de l'Arve sur les 4 stations d'étude présente une richesse spécifique et une abondance élevée caractéristique des régions alpines. La plus forte diversité spécifique et abondance lichénique est relevée aux Lacs des Ilettes (PAS3), site le plus éloigné des émissions de la ZI de Chedde, avec des valeurs significativement plus élevées que celles enregistrées dans le secteur de Passy (PAS1 et PAS2).

Au regard des mesures atmosphériques réalisées par AtmoAura et divers organismes de suivis de sites industriels, la vallée de l'Arve présente une exposition atmosphérique comparable au bruit de fond régional méditerranéen avec l'identification de hot-spots d'exposition autour des zones industrielles.

Ainsi la ville de Passy, située en fond de vallée, abritant la ZI de Chedde et traversée par l'A43, est exposée aux émissions industrielles et routières impactant la qualité de l'air et la biodiversité lichénique. Ce constat est confirmé par les impacts relevés sur la diversité et le développement lichénique sur PAS1 et PAS2 et l'apparition de nécroses plus ou moins importantes en fonction des stations témoignant de l'impact probable de contaminants atmosphériques chlorés ou fluorés type COHV ou BTEX.

L'ensemble des résultats de ces travaux ont été présentés en réunion publique le 28/05/24 à Domancy, en présence de l'Association Coll' Air Pur Santé, de la Fondation Patagonia et de l'équipe de l'Institut Ecocitoyen pour la Connaissance des Pollutions. Près de 40 personnes de la vallée y ont participé.

Pour préciser les résultats, une étude participative de bioaccumulation des principaux polluants atmosphériques (HAP, métaux, PCDD-F, ...) pourrait être menée en parallèle entre le territoire de Fos-sur-Mer et celui de la vallée de l'Arve. Plus globalement, l'identification de 4 espèces de lichens indicatrices de la flore alpine et présentant des sensibilités plus ou moins fortes aux polluants atmosphériques est prévue à la suite de ce travail et permettra un suivi temporel de leur évolution afin d'évaluer l'impact de la qualité de l'air mais aussi des changements climatiques sur la flore lichénique locale.

## VI. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR NF X43904, 2013. Biosurveillance de l'air – Biosurveillance passive de la qualité de l'air à l'aide des lichens autochtones : de la récolte à la préparation des échantillons. AFNOR, 17 p.
- AFNOR NF EN16413, 2014. Air ambiant – Biosurveillance à l'aide des lichens – Evaluation de la diversité des lichens épiphytes. AFNOR, 34 p.
- Agnan Y, 2013 : Bioaccumulation et bioindication par les lichens de la pollution atmosphérique actuelle et passée en métaux et en azote en France : sources, mécanismes et facteurs d'influence, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 304 p.
- Aairlichens, 2022. La Biosurveillance de la qualité de l'air. SUEZ RV Energie Mont-Blanc – Passy (74) A23-1365 Bilan de surveillance environnementale par les lichens - Comité de Suivi de Site.
- Asta, J., Erhardt, W., Ferretti, M., Fornasier, F., Kirschbaum, U., Nimis, P. L., Purvis, O.W., Pirintsos, S., Scheidegger, C., Van Haluwyn, C., 2002. European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress. British Lichen Society.
- ATMB, Suivi du trafic routier au tunnel du Mont-Blanc. <https://www.atmb.com/actualites-et-presse/suivi-traffic-routier-tunnel-du-mont-blanc-autoroute-a40/>. Consulté en avril 2024.
- AtmoAura, 2024. Mesure aux stations. <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr>. Consulté en avril 2024.
- Aubert, S., Rome, M., Douzet, R., Valay, J.G., 2019. Jardin botanique alpin du Lautaret. Livret-Guide. Université Grenoble Alpes (UGA), 213p.
- Austruy, A., 2018. Biodiversité lichénique – Communauté d'Agglomération du Pays de Martigues (CAPM). Rapport d'étude, Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, 40 p.
- Barkman, J.J., 1958. Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Van Gorcum édit., Assen, 628 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.
- Bricaud, O., 2004. Vég. lichénique de quelques stations du Ventoux et des Monts de Vaucluse. Bull. Inf. Ass. Fr. Lichénologie, 29(2), 1-52.
- Castell JF, 2009 : Biosurveillance de la qualité de l'air, AgroParisTech/INRA. [En ligne] : <http://biosurveillance-air.info>
- Clerc, P., Truong, C., 2008. The lichen flora of Switzerland. Conference: IAL-6At: Asilomar, CA, USA.

- Das, P., 2022. Chapter 1 - Lichen-based index of atmospheric purity (IAP) for biomonitoring of air, Editor(s): Supriya Tiwari, Shashi Agrawal, *New Paradigms in Environmental Biomonitoring Using Plants*, Elsevier, 1-26, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824351-0.00003-1>
- Delzenne, C., Géhu, J.M., 1978. Sur deux associations épiphytes du *Parmelion caperatae* des plaines et collines françaises. *Doc. Phytosociol.*, 2, 117-126.
- Deruelle, S., 1978. Les lichens et la pollution atmosphérique. *Bull Ecol*, 9, 87 –108.
- Dobson, F., 2011. *Lichens: an illustrated guide to the British and Irish species*. Richmond Pub., Slough, England. 496 p.
- Dron, J., Austruy, A., Agnan, Y., Ratier, A., Chamaret, P., 2016. Biomonitoring with lichens in the industrialo-portuary zone of Fos-sur-Mer (France): feedback on three years of monitoring at a local collectivity scale. *Pollution Atmosphérique*, 228. <http://lodel.irevues.inist.fr/pollution-atmosphérique/index.php?id=5392>
- Duvigneaud, P., 1942. Les associations épiphytiques de la Belgique. *Bull. Soc. roy. Bot., Belgique*, 74, 32-53.
- Frey, E., Ochsner, F., 1926. Contribution à la connaissance de la végétation lichénique et muscinale. In : BRAUN-BLANQUET J., *Etudes phytosociologiques en Auvergne, rapport sur une excursion inter-universitaire*. *Arvenia*, 2, 57-84.
- Gombert, S., Asta, J., Seaward, M.R.D., 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.
- Hilitzer, A., 1925. *Étude sur la Végétation épiphyte de la Bohême*. Publications de la Faculté des Sciences de l'Université Charles, Prague, 41, 1-200.
- Hofmann, P., 1993. Die epiphytische Flechtenflora und -vegetation des östlichen Nordtirol unter Berücksichtigung immissionsökologischer Gesichtspunkte. *Bibliotheca Lichenologica*, 51, 1- 299.
- INSEE, Comparateur de territoire. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1405599?geo=ZE2020-8414>, Consulté en avril 2024.
- LeBlanc, S.C.F., Sloover, J.D., 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany* 48: 1485-1496.
- Massimi, L., Castellani, F., Protano, C., Conti, M.E., Antonucci, A., Frezzini, M.A., Galletti, M., Mele, G., Pileri, A., Ristorini, M., Vitali, M., Canepari, S., 2021. Lichen transplants for high spatial resolution biomonitoring of Persistent Organic Pollutants (POPs) in a multi-source polluted area of Central Italy. *Ecological Indicators*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106921>

- Ochsner, F., 1928. Studien über die Epiphyten-Vegetation der Schweiz. Ber. Thätigk. St. Gallisch. naturw. Ges., 63, 1-108.
- Ratier, A, Dron, J, Revenko, G, Austruy, A., Dauphin, C.E., Chaspoul, F., Wafo, E., 2018. Characterization of atmospheric emission sources in lichen from metal and organic contaminant patterns. Environmental Science and Pollution Research, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1173-x>
- Reuillard. M., 2023. Biosurveillance atmosphérique de la Métropole Aix-Marseille-Provence : Campagne lichens 2021. Institut Écociroyen pour la Connaissance des Pollutions, 84 p.
- Roux, C., Gueidan, C., Clerc, P., 2003. Lichens et champignons lichénicoles des Alpes françaises : espèces nouvelles et intéressantes. Cryptogamie, Mycologie, 24 (3), 275-286.
- Roux C., 2004. Peuplements lichéniques et limite supérieure des forêts dans les Alpes méridionales calcaires. Bull. Soc. linn. Provence, 55, 71-88.
- Roux, C., et coll., 2020. Catalogue des lichens et champignons lichénicoles de France métropolitaine. 3<sup>e</sup> édition revue et augmentée. Édit. Association française de lichénologie (AFL), Fontainebleau, 1769 p.
- Sebald, V., Goss, A., Ramm, E., Gerasimova, J.V., Werth, S., 2022. NO<sub>2</sub> air pollution drives species composition, but tree traits drive species diversity of urban epiphytic lichen communities. Environmental Pollution, 308, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119678>.
- Tiévant, P., 2001. Guide des lichens : 50 espèces de lichens d'Europe. Delachaux et Niestlé. 304 p.
- Van Haluwyn, C., 2010. La sociologie des lichens corticoles en Europe – Essai de synthèse. Bull. Ass. Fr. Lichénologie, 35 - Fasc 2, 128 p.
- Van Haluwyn, C., Asta, J., Gavériaux, J.P., 2022. Guide des lichens de France : lichens de arbres. Belin. 296 p.