



Evaluation de la diversité des lichens épiphytes sur le territoire de cinq communes de la plaine d'Alsace

Etude de faisabilité de la mise en œuvre d'une méthode de
biosurveillance suivant la norme NF EN 16413

SURV-EN-192

CONDITIONS DE DIFFUSION

Diffusion libre pour une réutilisation ultérieure des données dans les conditions ci-dessous :

- Les données produites par ATMO Grand Est sont accessibles à tous sous licence libre « **ODbL v1.0** ».
- Sur demande, ATMO Grand Est met à disposition les caractéristiques des techniques de mesures et des méthodes d'exploitation des données mises en œuvre ainsi que les normes d'environnement en vigueur.
- ATMO Grand Est peut rediffuser ce document à d'autres destinataires.

PERSONNES EN CHARGE DU DOSSIER

Rédaction : *DI-POL Nicolas, Stagiaire Master 2*

Relecture : *Robellet Pierre, Chargé d'Etudes – Tuteur du stage*
Pallares Cyril, Responsable 'Unité Surveillance Réglementaire et Permanente

Approbation : *Rivière Emmanuel, Directeur délégué*

Référence du modèle de rapport : COM-FE-001_1

Référence du rapport : SURV-EN-192

Date de publication : 8 avril 2018

ATMO Grand Est

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – 67300 Schiltigheim

Tél : 03 88 19 26 66 - Fax : 03 88 19 26 67

Mail : contact@atmo-grandest.eu

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent à l'Écomusée d'Alsace notamment à Annick et François Kiesler, chefs de file de la corporation des naturalistes pour leur accueil chaleureux et de tout l'intérêt qu'ils ont porté à notre étude. Un merci particulier à Philippe Defranoux, pour ses photos lors des relevés de terrain à l'Écomusée et sa grande connaissance naturaliste du site ainsi qu'à Anaïs Colin pour sa participation à l'inventaires des lichens des arbres.

Nous remercions également M. Bernard STOEHR du Musée d'Histoire Naturelle et d'Ethnographie de Colmar et M^{me} Chantal VAN HALUWYN de l'Association Française de Lichénologie pour leur aide précieuse à la détermination des lichens inventoriés.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	7
INTRODUCTION.....	8
1. LA BIOSURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L’AIR PAR LES LICHENS	9
1.1. LA BIOSURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L’AIR	9
1.1.1. Définitions de la biosurveillance :	9
1.1.2. Concepts utilisés pour la mise en évidence des pollutions.....	9
1.1.3. Approches passive et active de la biosurveillance	9
1.2. LES LICHENS.....	10
1.2.1. Anatomie	10
1.2.2. Différents types de thalles.....	12
1.2.3. Des organismes symbiotiques.....	12
1.2.4. La nutrition des lichens.....	14
2. METHODE ET MOYENS MIS EN ŒUVRE	15
2.1. ECHANTILLONNAGE	15
2.1.1. Choix des stations d’échantillonnage	15
2.1.2. Choix des arbres.....	15
2.1.3. Relevé sur le terrain	17
2.2. DETERMINATION DES LICHENS.....	19
2.3. TRAITEMENT DES DONNEES	21
2.3.1. Valeur de diversité lichénique (LDV).....	21
2.3.2. Valeur de diversité d’indicateur d’eutrophisation (LDVN).....	21
2.4. ZONE D’ETUDE.....	22
2.5. REFLEXION SUR LA FAISABILITE DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA BIOSURVEILLANCE (BIOINTEGRATION) PAR LES LICHENS	25
3. ÉMISSIONS DU TERRITOIRE DE LA ZONE D’ETUDE.....	26
4. RESULTATS	28

4.1.	LICHENS IDENTIFIES	28
4.2.	PHOROPHYTES.....	29
4.3.	INDICES ECOLOGIQUES LICHENIQUE.....	29
4.3.1.	Richesse spécifique	29
4.3.2.	Indicateurs de diversité lichéniques (LDV, LDVN)	30
4.3.3.	Indicateurs potentiels du réchauffement climatique	34
4.4.	INDICATEURS LICHENIQUES ET DONNEES D’EMISSIONS.....	35
4.4.1.	Relations émissions de NOx et Indicateurs lichéniques.....	35
4.4.2.	Relations émissions de PM10 et Indicateurs lichéniques.....	37
4.5.	INDICATEURS LICHENIQUES ET DONNEES DE MODELISATION.....	40
5.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	41
5.1.	INDICATEURS LICHENIQUES ET QUALITE DE L’AIR.....	41
5.2.	INDICATEURS LICHENIQUES ET DONNEES D’EMISSIONS ET MODELISATION	41
5.3.	PERSPECTIVES.....	42
6.	BIBLIOGRAPHIE	43
7.	ANNEXES.....	44

Liste des acronymes et sigles utilisés

AFNOR : Association Française de Normalisation

IBLE : Indice Biologique des Lichens Epiphytes

LDV : Lichen Diversity Value, pour la valeur de la diversité lichénique

LDVN : Lichen Diversity Value Nitrophilous, pour la valeur de la diversité d'indicateurs d'eutrophisation

AGE : Atmo Grand Est

EMA : Ecomusée d'Alsace

PRSQA : Plan Régional de la Surveillance de la Qualité de l'Air

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air

AFL : Association Française de Lichénologie

M2A : Mulhouse Alsace Agglomération

RÉSUMÉ

La biosurveillance de la qualité de l'air a recours aux organismes vivants pour évaluer la mesure de leur exposition aux contaminants atmosphériques et/ou mesurer des effets biologiques induits sur ces organismes. La norme NF EN 16413 (2014) propose une méthode d'évaluation de la diversité des lichens épiphytes et offre un cadre de référence permettant d'évaluer l'impact des activités anthropiques pour estimer les effets de la pollution atmosphérique.

Les lichens ou champignons lichénisés, étant donné leurs particularités anatomiques, sont particulièrement bien adaptés pour l'étude des polluants atmosphériques aussi bien gazeux que particulaires.

Dans le cadre de son Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air (actions 1, 2 et 28 du Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air d'ATMO Grand Est) et conformément à la stratégie de développement de la biosurveillance de la qualité de l'air (SURV-EN-079), l'année 2018 a été consacrée à réaliser une étude de faisabilité de l'évaluation de la qualité de l'air par biosurveillance sur les écosystèmes en utilisant la double fonction des lichens comme bioindicateurs de la qualité de l'air et bioindicateurs de la biodiversité.

La zone d'étude regroupe cinq communes de la plaine d'Alsace (Ungersheim, Pulversheim, Feldkirch, Bollwiller et Raedersheim). Ces communes sont situées dans le département du Haut-Rhin au nord-ouest de l'agglomération Mulhousienne et font partie du bassin potassique où l'exploitation de la potasse a été prépondérante durant plusieurs décennies.

INTRODUCTION

La stratégie de surveillance définie dans le Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air d'Atmo Grand Est 2017/2021 a inscrit le recours à la biosurveillance dans deux actions de l'axe A (Répondre aux besoins d'observation) :

- Action 1 – Dans le cadre de cette action d'optimisation des outils de surveillance de la qualité de l'air, la biosurveillance sera utilisée en complément des moyens d'évaluation métrologiques de la qualité de l'air.
- Action 2 – Concernant l'exposition de la végétation, ATMO Grand Est affinera la connaissance de l'exposition des écosystèmes aux polluants par les méthodes alternatives de biosurveillance (bioindication et/ou biointégration et bioaccumulation).

La biosurveillance évalue toujours un effet sur un organisme vivant. Elle implique l'utilisation d'organismes vivants pour mettre en évidence les impacts de l'environnement. Si le polluant entraîne une modification physiologique de la plante, on parle alors de bioindication (échelle individuelle), de biointégration (échelle de la communauté biologique) ou de biomarqueurs (effet non visible). S'il se concentre dans les tissus végétaux (sans forcément être phytotoxique), permettant d'estimer l'effet cumulatif de la pollution dans le temps, il s'agit alors de bioaccumulation.

Avec l'objectif d'évaluer la pertinence de réaliser un diagnostic de qualité de l'air à l'aide de la biosurveillance, Atmo Grand Est a réalisé une étude de faisabilité de la mise en œuvre d'une méthode de biosurveillance normalisée en 2018 sur le territoire de cinq communes de la plaine d'Alsace.

Les travaux se sont appuyés sur la norme NF EN 16413 qui offre un cadre aux études de biosurveillance de la qualité de l'air à l'aide des lichens épiphytes. Elle a été utilisée comme support méthodologique pour la stratégie d'échantillonnage et le traitement des données relevées sur sites.

Les résultats de l'inventaire des lichens et des indices de diversité calculés ont été complétés par des données issues de la plateforme de modélisation d'Atmo Grand Est et de l'inventaire des émissions de polluants.

La faisabilité a été évaluée lors de la mise en œuvre de la méthode et de l'application des traitements des données adéquates.

1. LA BIOSURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR PAR LES LICHENS

L'étude de faisabilité de la mise en œuvre de la biosurveillance s'est appuyée sur la norme NF EN 16413, qui remplace depuis 2014 la norme NF X43-903. La norme précise la démarche à suivre ainsi que la stratégie d'échantillonnage et le calcul des indicateurs spécifiques. Elle permet d'avoir une méthode objective et reproductible pour toutes les études réalisées et l'obtention de résultats standardisés.

1.1. LA BIOSURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR

1.1.1. Définitions de la biosurveillance :

- Il existe deux définitions de la biosurveillance :
- La biosurveillance est l'utilisation de systèmes biologiques (organismes et communautés d'organismes) pour suivre les changements de l'environnement dans l'espace et/ou dans le temps (Leblond et al., 2014).
- La biosurveillance est l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre son évolution (Garrec & Van Haluwyn, 2002).

1.1.2. Concepts utilisés pour la mise en évidence des pollutions

Selon les végétaux et les polluants, différents concepts peuvent être utilisés pour mettre en évidence les pollutions : l'utilisation de biomarqueurs, la bioindication, la biointégration et la bioaccumulation.

- L'utilisation de **biomarqueurs** correspond au suivi de modification de la structure ou du fonctionnement d'un organisme qui permet de montrer que les fonctions biologiques d'un végétal sont influencées par le milieu environnant. Il peut s'agir de modifications au niveau des enzymes, de la physiologie, de la génétique.
- La **bioindication** concerne les réponses biologiques au niveau d'un individu (impacts physiologiques, tissulaires ou morphologiques) qu'un organisme peut avoir face à une pollution avec par exemple des taches sur les feuilles.
- La **biointégration** correspond à l'étude phytosociologique d'organismes vivant avec par exemple une observation des variations de populations ou communautés face à une pollution.
- La **bioaccumulation** correspond à une mesure des polluants accumulés par un organisme soumis à une pollution à plus ou moins long terme. (AGNAN Y. 2013)

1.1.3. Approches passive et active de la biosurveillance

Deux approches différentes peuvent-être utilisées dans le cadre de la biosurveillance de la qualité de l'air :

- La **biosurveillance in situ**, également appelée approche intégrée ou passive : cette approche est basée sur l'observation des organismes présents naturellement dans l'environnement étudié. Elle

est principalement utilisée pour observer les impacts sur le long terme, en tenant compte des conditions écologiques et climatiques.

- La **biosurveillance active** est une approche basée sur l'introduction dans le site d'étude des organismes cultivés dans des conditions contrôlées (sous serre par exemple) ou prélevés dans un site témoin (techniques de transplantation des lichens qui ne se cultivent pas par exemple). Une approche de laboratoire en conditions entièrement contrôlées en termes de développement et d'exposition est également possible. Elle est principalement utilisée pour observer les impacts à court terme dans des conditions d'exposition spécifiques.

1.2. LES LICHENS

Les lichens sont des organismes résultant d'une symbiose (association biologique durable et réciproquement profitable entre deux organismes vivants) entre un champignon et une algue ou une cyanobactérie. Les champignons assurant la reproduction des lichens et étant l'hôte des algues ou cyanobactéries, les lichens sont dits « champignons lichénisés » et sont classés dans le domaine des eucaryotes¹ et dans le règne des fungi (champignons) bien qu'ils puissent être constitués de procaryotes² (cyanobactéries) ou d'eucaryotes du règne plantae (algues).

Chez les lichens, l'absence de stomate et de cuticule implique une circulation de l'air à l'intérieur du lichen en toute circonstance avec une réponse plus importante à la pollution atmosphérique par rapport aux autres végétaux.

La biointégration est le processus le plus exploitable avec les lichens grâce à l'existence de nombreuses espèces présentant des réponses distinctes face aux différentes conditions de vie et expositions aux pollutions. Certaines espèces sont très sensibles à certains polluants alors que d'autres ont une sensibilité moindre. Ce phénomène permet d'avoir un panel d'espèce lié à différents niveaux de la qualité de l'air, que ce soit pour la qualité de l'air en général ou plus précisément pour la pollution azotée, acide ou à l'ozone. (VAN HALUWYN, LEROND, 1986)

Le métabolisme très lent des lichens et leur activité continue implique qu'ils sont soumis à la pollution sur le long terme et en continu. (HELL I., 1993)

1.2.1. Anatomie

De façon très générale, le thalle est l'appareil végétatif du lichen. Dans la grande majorité des cas (lorsque le lichen possède une structure hétéromère), le thalle est constitué de quatre strates (Figures 1 & 2). Pour les lichens foliacés, la couche la plus proche du support est le cortex inférieur, suivi par la médulle, la couche algale (ou assimilatrice) et le cortex supérieur qui correspond à la face supérieure.

Le champignon est le constituant principal de ces quatre strates tandis que la couche algale accueille les algues vertes ou cyanobactéries. Dans le cas d'une structure homéomère, le lichen ne présente pas de strate : il devient gélatineux lorsqu'il est humidifié et cassant lorsqu'il est sec. Les lichens possèdent des

¹ Organisme se caractérisant par la présence d'un noyau cellulaire

² Organisme dont la structure cellulaire ne comporte pas de noyau

organes spécifiques qui vont permettre une détermination plus aisée du moins au niveau du genre (Cf. Annexe I).

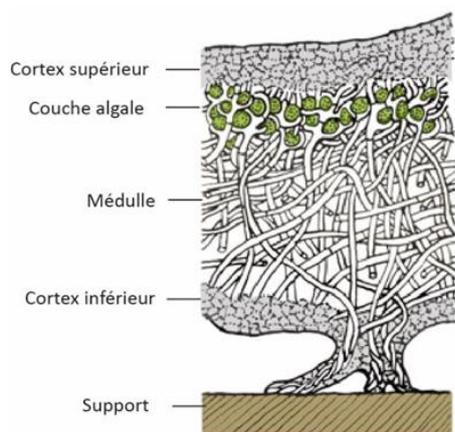


Figure 1 : Coupe transversale d'un lichen foliacé



Figure 2 : *Phycia aipolia* - Lichen foliacé

1.2.2. Différents types de thalles

Les différents types de lichens se déterminent par leur morphologie. Il y a trois principaux types de lichens.

Les lichens **fruticuleux** (Figure 3) sont attachés au support en un seul point avec un aspect « buissonnant ». Les lichens **foliacés** (Figure 4) ont une forme circulaire, sont plaqués au support et y sont attachés en différents points. Les lichens **crustacés** (Figure 5) sont, comme leur nom l'indique, « incrustés » dans le support à tel point qu'il faut prélever le support quand on souhaite prélever le lichen. Les lichens crustacés ne possèdent pas de cortex inférieur.



Figure 3 : Lichen fruticuleux
(Photo ATMO GE)



Figure 5: Lichen crustacé (Photo ATMO GE)



Figure 4 : Lichen foliacé (Photo ATMO GE)

Au-delà de ces 3 formes, certains lichens adoptent également d'autres morphologies comme les lichens **gélatineux** qui sont gélatineux à l'état humide et cassants lorsqu'ils sont secs, ce qui est dû à l'absence de stratification du lichen. Seules les cyanobactéries peuvent être le phytosymbiote d'un lichen gélatineux. Les lichens **squamuleux** sont composés d'un ensemble de squamules, semblables à des écailles. Les lichens **lépreux** (Figure 6) n'ont pas la morphologie habituelle des lichens, ils ressemblent à un amas de granules à l'aspect farineux. Cette morphologie est due à l'absence de cortex. Les lichens **composites** possèdent un thalle primaire et un thalle secondaire. Le thalle primaire peut être un thalle foliacé tandis que le thalle secondaire est dressé. (VAN HALUWYN C., ASTA J., 2013)



Figure 6 : Lichen lépreux

1.2.3. Des organismes symbiotiques

Le champignon (appelé « mycosymbiote » dans le cas des lichens) est un ascomycète dans quasiment tous les cas. Le photosymbiote (organisme à l'origine de la photosynthèse) est une algue (*Trebouxia* ou *Trentepohlia*) dans 90% des cas ou une cyanobactérie (le genre *Nostoc* étant le plus commun) dans 10% des cas. Un champignon peut être en symbiose avec un ou plusieurs phytosymbiotes pour former un

lichen. On parle, dans le cas des lichens, de symbiose car les deux organismes tirent un bénéfice de leurs interactions (Figure 7). Le champignon récupère les sels minéraux et l'eau du milieu qu'il transmet au photosymbiote avec des vitamines (en plus du rôle de protection qu'il assure). Le photosymbiote utilise la lumière et le CO₂ pour produire du polyol (sucre) et des vitamines dans le cas de l'algue ou fournir du glucose, des vitamines et de l'ammonium pour la cyanobactérie. Cette symbiose est aussi à l'origine de la création de substances lichéniques qui sont importantes pour les lichens tant au niveau de la régulation de la photosynthèse, de la filtration des radiations lumineuses, des propriétés antibiotiques (anti germination des graines par exemple) et de certaines propriétés anti herbivores.

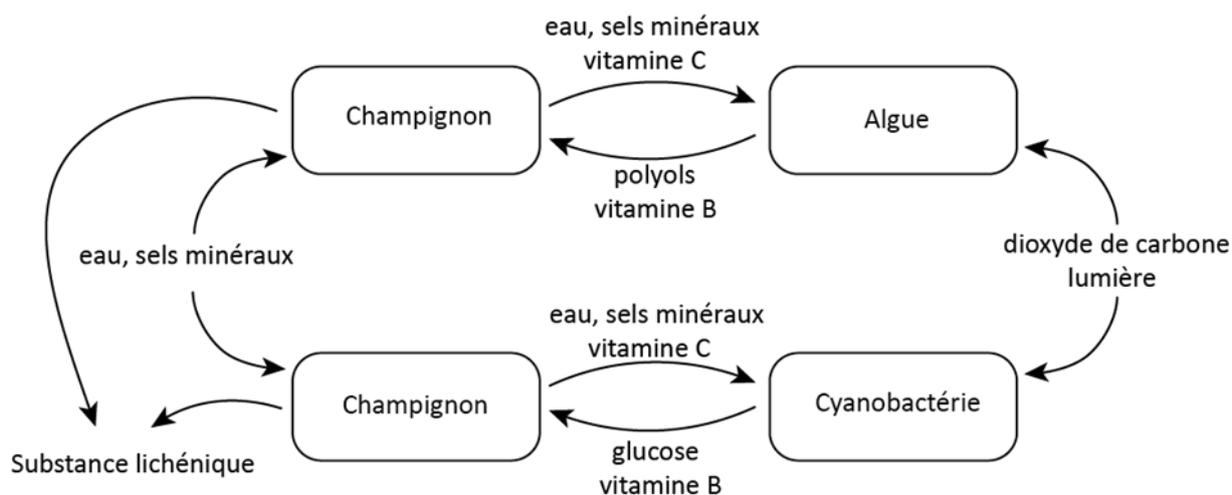


Figure 7 : Schéma des échanges entre le mycosymbiote et le photosymbiote

1.2.4. La nutrition des lichens

La nutrition peut être à l'origine de l'explication de certaines proliférations de lichens, voire de leur absence.

- **La nutrition azotée** des lichens se fait en grande partie à partir de l'atmosphère, mais peut aussi se faire à partir du ruissellement le long du tronc. Les lichens ayant pour photosymbiote une cyanobactérie arrivent à fixer le diazote (N_2) atmosphérique. Les autres lichens fixent les ions ammonium (NH_4^+) de l'air et les ions nitrate (NO_3^-). La nutrition azotée se fait aussi par apport organique avec des acides aminés et de l'urée.
- **La nutrition carbonique** se fait donc grâce au photosymbiote qui utilise le CO_2 de l'atmosphère ainsi que la lumière pour apporter l'énergie nécessaire au lichen.
- **La nutrition minérale** s'effectue aussi en grande partie avec les dépôts atmosphériques à la surface du lichen. De nombreux éléments sont indispensables dans certaines quantités, d'autres sont inutiles voir toxiques.
- **La nutrition hydrique** se fait par ruissellement ou par la pluie de façon directe, mais par temps non pluvieux elle se fait aussi par l'humidité présente dans l'air. Lorsque le thalle est sec, l'activité biologique est très réduite et elle reprend dès que le thalle est réhydraté. (AGNAN Y., 2013)

2. METHODE ET MOYENS MIS EN ŒUVRE

2.1. ECHANTILLONNAGE

2.1.1. Choix des stations d'échantillonnage

La sélection des stations d'échantillonnage est la première étape et nécessite, après repérage sur Google Maps, d'aller sur le terrain pour sélectionner les stations d'échantillonnage et les arbres.

Sur chaque station 2 arbres doivent être éligibles à l'observation des lichens conformément à la norme NF EN 16413 (Biosurveillance de la qualité de l'air concernant les méthodes de prélèvements – incluant le choix du site de prélèvement – et de préparation des échantillons, les méthodes d'essais et la détermination d'indices biologiques).

- Les zones forestières ne sont pas favorables pour la détermination des lichens car les conditions de température, de vent, d'ensoleillement et d'humidité créent un microclimat distinct du reste du territoire d'étude.
- L'objectif est de mesurer la pollution de fond. Il faut sélectionner les arbres éloignés des grands axes routiers ou des sources d'émissions importantes de polluant.

Dans le cadre de cette étude, une station témoin d'influence trafic a été sélectionnée le long de la D430, l'axe routier le plus important de la zone d'étude (station 51) pour voir si la diversité lichénique des arbres les plus proches des sources d'émission est significativement impactée.

Les conditions de sélection d'une station d'échantillonnage entraînent un choix réduit de possibilités sur la zone d'étude et donc des difficultés à trouver des stations favorables répondant au critère de la norme. Le choix est également compliqué par les contraintes sur les arbres retenus sur la station (partie 4.1.2).

Les stations d'échantillonnage sont décrites dans l'annexe II.

2.1.2. Choix des arbres

Le choix des arbres doit correspondre à des critères précis définis dans la norme.

- Certains arbres sont à proscrire comme par exemple le platane, dont l'écorce est soumise à une forte desquamation ne laissant pas suffisamment le temps aux lichens de se mettre en place.
- Le tronc doit avoir une morphologie précise, il doit être relativement droit (moins de 20° d'inclinaison) sur une hauteur assez importante ; il faut que le tronc soit droit et aussi dégagé sur au moins 1,5 m de haut. Si ces dernières conditions ne sont pas respectées, les conditions écologiques sont modifiées (du point de vue de l'humidité et de l'exposition au soleil) impliquant une modification du développement de certaines espèces (CUNNY D., 2003).
- La circonférence du tronc doit être comprise entre 50 et 250 cm à une hauteur de 130 cm. Les écorces des arbres trop jeunes offrent trop peu d'aspérités pour que les spores de lichens s'y déposent en nombre. A partir de 50 cm de circonférence, l'arbre a dans la plupart des cas une écorce assez ancienne où des lichens ont eu le temps de se développer.

- La couverture des lichens doit être uniforme autour du tronc ; la sélection d'un arbre avec une face sans lichens impliquerait une sous-estimation de la diversité lichénique dans les résultats, ce qui laisserait indirectement entendre que la qualité de l'air est inférieure sur ce site alors que ce n'est pas spécialement le cas.
- Il faut aussi que les éléments limitant le développement des lichens soit les moins nombreux possible. Cela implique que moins de 20% de la surface représentée par le gabarit sur les quatre faces de l'arbre doit être couverte par de la mousse, du lierre ou d'autres éléments impliquant une baisse de la présence de lichens (Figure 8).

Cette dernière condition est l'une des plus contraignantes et diminue en grande partie les arbres sélectionnables pour l'étude.



Figure 8 : Tronc irrégulièrement couvert de lichens (Photo ATMO GE)

2.1.3. Relevé sur le terrain

Le relevé des données sur le terrain se fait à l'aide d'une grille d'observation de 10x50 cm qui est apposée au tronc de façon verticale au quatre points cardinaux, limitant ainsi le nombre de relevés et permettant d'avoir la même surface de relevé sur tous les arbres de l'étude (Figure 9). Cette grille doit être découpée en 5 mailles de 10x10 cm et doit pouvoir être apposée facilement au tronc. Si elle est trop rigide elle ne pourra pas suivre la forme du tronc et ne pourra pas être correctement fixée. Au contraire, trop malléable, elle risque d'être déformée et la superficie de la surface étudiée ne sera pas la même entre chaque face et/ou arbre (Figure 10).

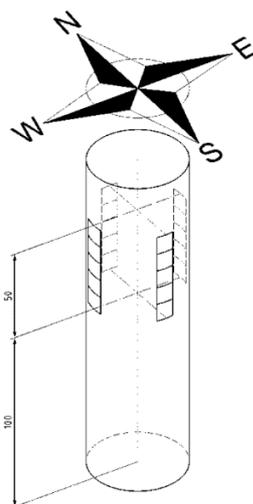


Figure 10 : Placement de la grille d'observation (AFNOR, 2014)



Figure 9 : Grille d'observation placée sur l'arbre (Photo ATMO GE)

Le relevé se fait entre 1 m et 1,50 m (à partir du sol) ou plus haut, parce que la partie inférieure des troncs est soumise à des conditions différentes (proximité du sol voire de végétaux) et peut aussi être soumise à des apports azotés comme l'urine de chien qui vient totalement modifier la couverture lichénique (en faible quantité, il s'agit d'un apport bénéfique pour les lichens nitrophiles, en trop forte quantité, l'apport « brûle » les végétaux (Figure 11).

Figure 11 : Partie inférieure du tronc dépourvue de lichens, mousses ou algues (Photo ATMO GE)



Matériel utilisé

Pour des raisons pratiques, il faut être équipé d'un mètre ruban, de cartes pour être en capacité de repérer et indiquer les arbres concernés par l'étude et d'une boussole. Pour le prélèvement des échantillons de lichens, il faut se munir d'un couteau tranchant permettant de prendre une partie de l'écorce des arbres afin de prélever le lichen en entier si possible. L'échantillon est placé dans une enveloppe en papier kraft de préférence.

Pour la détermination in situ, une loupe de terrain x10 est indispensable et s'avère suffisante pour déterminer les lichens les plus communs.

Pour les identifications plus compliquées, l'échantillon est rapporté au laboratoire pour être observé avec une loupe binoculaire x30 ou x45 et des réactifs chimiques peuvent-être nécessaires pour différencier les espèces semblables. Les principaux réactifs utilisés sont l'hypochlorite de calcium (C), la potasse (K) et la paraphénylènediamine (P).

Les fiches de relevé :

Élément essentiel pour la campagne de terrain, les fiches de relevé permettent de renseigner la récolte des données avant leur traitement. Ces fiches contiennent toutes les informations nécessaires pour le calcul des indices de diversité notamment.

La première page recueille des informations sur le site tandis que les autres pages sont destinées aux données récoltées sur un arbre (Cf. Annexe III). La première page des fiches de relevé doit donc avoir un numéro d'identification du site, la commune du site, la date du prélèvement, un croquis du site permettant de le situer mais surtout de situer les arbres concernés par l'étude. Des commentaires peuvent être ajoutés pour renseigner l'environnement immédiat de la station (proximité avec une route plus ou moins utilisée, site entouré de champs, site se situant à proximité d'une source de pollution).

Les autres pages concernent chaque arbre de la station. Chaque page doit préciser le numéro de l'arbre (numéro utilisé pour repérer l'arbre sur le croquis de la 1^{ère} page), l'essence de l'arbre ainsi que sa circonférence. Le reste de la page est destinée au relevé des lichens (présence de chaque lichen dans chaque cadre du gabarit selon les 4 points cardinaux).

2.2. DETERMINATION DES LICHENS

La détermination des lichens présente une grande variabilité : certains peuvent être déterminés rapidement grâce à leur morphologie et leur couleur quand d'autres nécessitent l'utilisation d'une loupe binoculaire pour observer les fins détails sur et sous le thalle. Parfois, notamment pour les lichens crustacés, il est nécessaire d'examiner la nature et la forme des spores au microscope en utilisant des réactifs chimiques.

Les principaux types de thalles : Thalle fruticuleux, foliacé, crustacé, squamuleux composite et gélatineux est le premier élément qui permet de catégoriser les lichens.

Les thalles de lichens foliacés sont formés de lobes dont la taille, la forme et l'aspect varie selon les espèces. Cette différence se voit par exemple entre *Pleurosticta acetabulum* (Neck.) Elix et Lumbsch, 1988 qui possède des lobes de plus d'un centimètre et *Physcia tenella* (Scop.) DC., 1805 dont les lobes font au maximum un millimètre.

La couleur est le second élément en sachant que chez de nombreux lichens celle-ci varie avec l'humidité ambiante. Pour éviter toute confusion, l'identification des lichens doit se faire lorsqu'il ne pleut pas et lorsque que le vent est faible à modéré.

Il est surtout très utile de pouvoir humidifier un lichen pour observer ses deux états ; la réaction à l'eau n'étant pas la même entre chaque lichen, il peut s'agir d'un élément de détermination comme par exemple pour *Physconia grisea* (Lam.) Poelt, 1965.

Les constituants du Thalle : Pour des espèces d'un même genre très ressemblantes (exemple *Usnea* sp), il est possible de les différencier par le pourcentage des constituants du thalle (cortex / médulle / cordon axial) à l'aide d'une coupe transversale. Ce pourcentage étant variable entre chaque espèce et plutôt constant entre les lichens d'une même espèce.

Utilisation de réactifs chimiques :

A l'aide de réactifs chimiques (l'hypochlorite de calcium, la potasse et la paraphénylènediamine), il est possible de différencier les lichens entre eux. Les réactions chimiques sont dues à la présence d'acides lichéniques qui sont variables entre chaque espèce de lichens. Les clés de détermination indiquent si les lichens ont une réaction positive (changement de couleur) ou s'ils ont une réaction négative. Ainsi, on peut par exemple différencier des lichens semblables tels que *Candelaria concolor* (Dickson) B. Stein (réaction K-) et *Xanthoria candelaria* (Hepp) Arnold, 1860 (réaction K+ pourpre) (Figure 12)



Figure 12 : Utilisation de réactifs chimiques

La référence à des cartes de répartition³ permet de savoir si l'espèce a déjà été inventoriée dans le département ou au contraire ne figure que sur des régions bien différentes du territoire de l'étude (pourtour méditerranéen, côtes atlantiques, Alpes, etc.).

Pour l'identification des lichens complexes, ATMO Grand Est s'est appuyée sur l'**expertise de M. Bernard STOEHR, botaniste au Musée d'Histoire Naturelle et d'Ethnographie de Colmar.**

A noter que certaines espèces plus difficiles à déterminer que d'autres ne sont déterminées que pour le genre (ex : « *Usnea sp.* »).

³ Catalogue des lichens et champignons lichénicoles de France métropolitaine – Tome 2 (cartes) » (ROUX C. et coll., 2017)

2.3. TRAITEMENT DES DONNEES

2.3.1. Valeur de diversité lichénique (LDV)

La valeur de diversité lichénique (LDV pour *lichen diversity value*) est calculée pour chaque arbre de chaque site conformément à la norme NF EN 16413 :

$$LDV_t = SF_{Nt} + SF_{Et} + SF_{Ot} + SF_{St}$$

LDV_t est la valeur de la diversité écologique pour un arbre t.

SF correspond à la somme des fréquences d'occurrence de chaque lichen sur la face (N, E, O ou S) sur un arbre t.

La valeur de la diversité lichénique d'un site d'échantillonnage se calcule en faisant **la moyenne des valeurs calculées pour chaque arbre** d'un même site.

2.3.2. Valeur de diversité d'indicateur d'eutrophisation (LDVN)

Pour les valeurs de diversité d'indicateurs d'eutrophisation (LDVN pour *lichen diversity value nitrophilous*), il est nécessaire de savoir quels lichens sont jugés nitrophiles (WIRTH V., 2010). (Cf. Annexe IV). Le calcul est ensuite le même que pour la LDV, mais il ne concerne que les espèces nitrophiles :

$$LDVN_t = SF_{Nt} + SF_{Et} + SF_{Ot} + SF_{St}$$

LDVN_t est donc la valeur de la diversité des indicateurs d'eutrophisations pour un arbre t.

SF correspond à la somme des fréquences d'occurrence de chaque lichen nitrophile sur la face (N, E, O ou S) sur un arbre t.

Site 49/ Arbre 1	Nitrophile	Nord	Est	Sud	Ouest	Abondance de lichens pour chaque espèce	Abondance de lichens pour chaque espèce nitrophile	
Candelaria concolor	oui	0	2	0	0	2	2	
Candelariella xanthostigma	non	5	4	0	0	9		
Evernia prunastri	non	3	3	0	3	9		
Hypogymnia physodes	non	3	0	0	0	3		
Lecidella elaeochroma	non	0	0	3	0	3		
Melanohalea elegantula	non	1	0	0	0	1		
Parmelia sulcata	oui	5	5	5	5	20	20	
Parmelina tiliacea	non	0	2	0	0	2		
Phaeophyscia orbicularis	oui	2	3	5	5	15	15	
Physcia adscendens	oui	5	5	5	5	20	20	
Physconia grisea	oui	1	0	0	0	1	1	
Punctelia borrieri	non	2	0	2	0	4		
Xanthoria parietina	oui	2	0	1	2	5	5	
Lecanora sp.	non	2	0	0	1	3		
Lecanora sp.	non	0	2	2	3	7		
						Valeur de la diversité lichénique :	Valeur de la diversité des indicateurs d'eutrophisation :	
						104	63	
		Pourcentage de lichens nitrophiles présents sur l'arbre :						60,58%

2.4. ZONE D'ETUDE

La zone d'étude retenue se situe dans la plaine d'Alsace, au nord de l'agglomération mulhousienne, dans le département du Haut-Rhin. Les stations d'échantillonnage se situent sur les communes de Bollwiller, Feldkirch, Ungersheim, Raedersheim et Pulversheim (Figure 13).

Ces 5 communes regroupent un peu plus de 11 000 habitants. Il s'agit de communes principalement agricoles (forte présence de cultures annuelles), avec deux zones d'activités (Ungersheim et Pulversheim). A noter également que les communes d'Ungersheim, Feldkirch et Bollwiller sont intégrées au territoire de Mulhouse Alsace Agglomération (M2A).

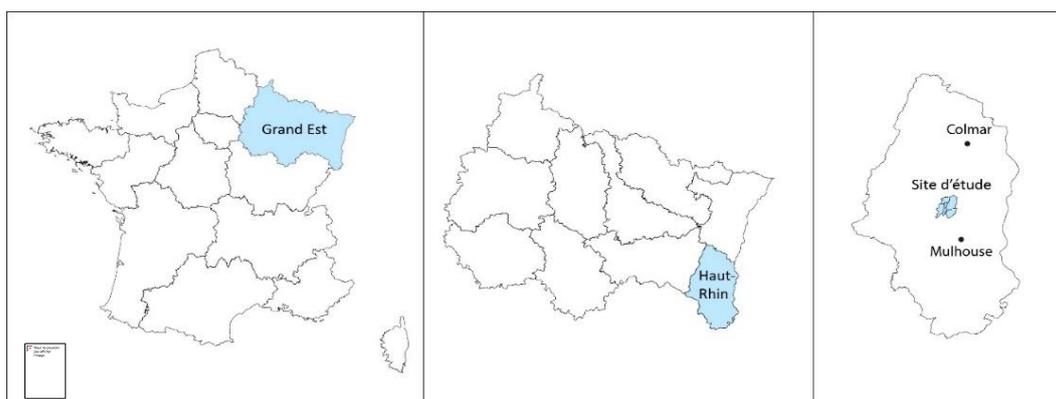


Figure 13 : Localisation des communes de l'étude

L'Écomusée d'Alsace implanté sur la commune d'Ungersheim a été choisi dès le début de l'étude comme site de référence au vu de son potentiel environnemental et patrimonial remarquable, de l'ouverture au public et de la volonté de ses dirigeants d'accueillir des structures telle qu'ATMO Grand Est pour réaliser des études spécifiques sur son territoire. A noter qu'un inventaire du patrimoine naturel (faune et flore) est effectué sur l'ensemble du territoire de l'Ecomusée par la corporation des naturalistes de l'Ecomusée (Figure 14).

Le territoire d'étude de l'Ecomusée et les sites potentiels correspondant aux critères de la norme n'étaient pas suffisants pour avoir une représentativité objective de la diversité lichénique. Aussi, le territoire a été étendu aux communes limitrophes ce qui a permis de sélectionner une vingtaine de stations correspondant aux critères normatifs. La superficie couverte par la zone d'échantillonnage représente un peu plus de 15 km² (Figure 15).



Figure 14 : Vue aérienne de l'écomusée d'Alsace

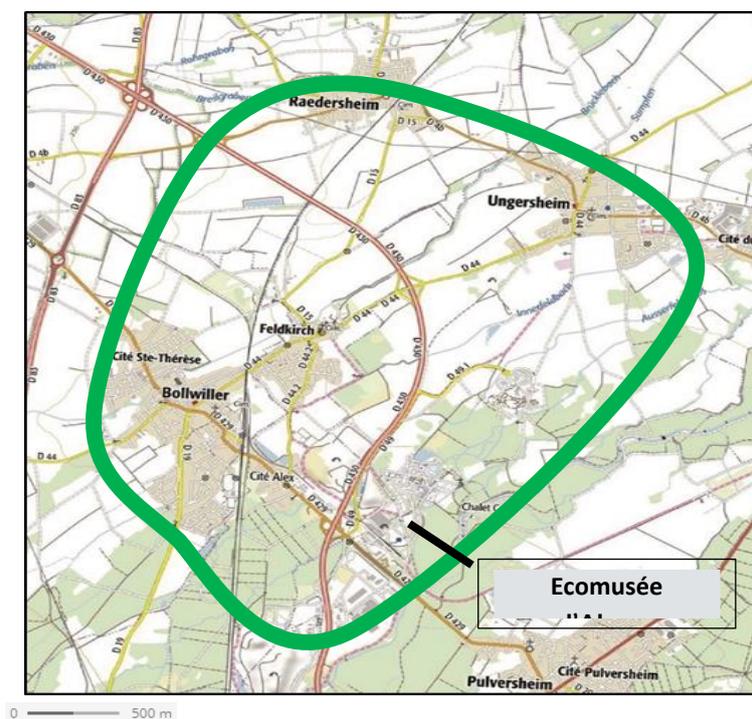
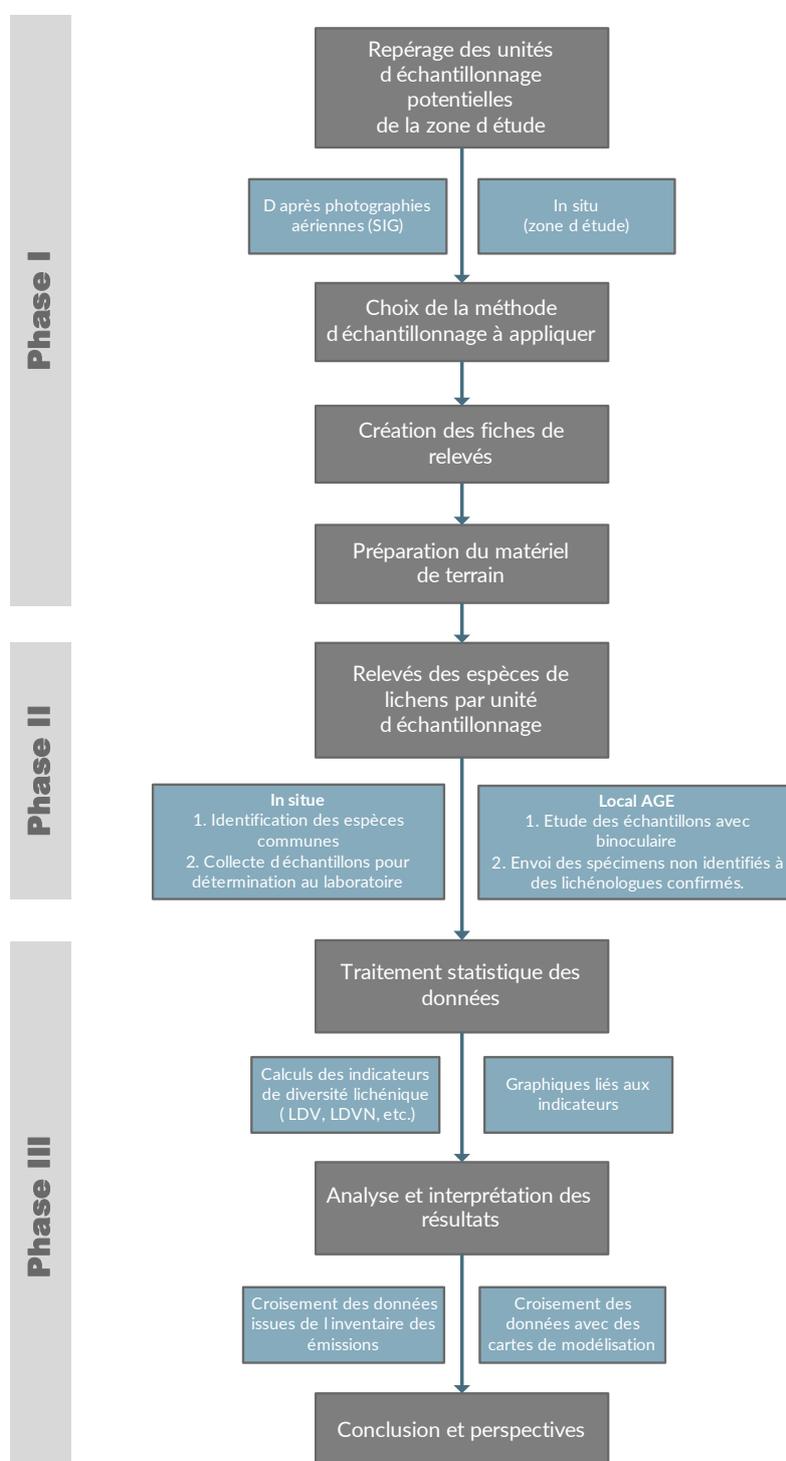


Figure 15 : Localisation de la zone d'étude

LOGIGRAMME

Le logigramme décrit les différentes phases de l'étude.



2.5. REFLEXION SUR LA FAISABILITE DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA BIOSURVEILLANCE (BIOINTEGRATION) PAR LES LICHENS

La mise en œuvre d'un premier exercice de biosurveillance (biointégration sur les lichens) selon la norme NF EN 16413 durant la campagne 2018 autour de l'Ecomusée d'Alsace permet de tirer quelques enseignements. :

- Le choix des stations d'échantillonnage et des arbres n'est pas évident car soumis à des contraintes importantes (hors forêt, espèces d'arbres, circonférence des arbres...). Cela se traduit par un déploiement d'unités d'œuvre substantielles.
- L'identification des espèces de lichens nécessite une formation adéquate et une pratique régulière avec l'aide de spécialiste en lichénologie.

Pour cette partie de l'étude, il est recommandé de solliciter des lichénologues confirmés qui sont hélas très rares aussi bien au niveau régional qu'à l'échelle nationale.

3. ÉMISSIONS DU TERRITOIRE DE LA ZONE D'ETUDE

Dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air, ATMO GrandEst réalise chaque année un inventaire des émissions atmosphériques. Cet inventaire permet entre autres, de déterminer les émissions de polluants par secteurs d'activités et d'alimenter en données d'entrée des modèles de prévision atmosphérique ou encore de réaliser des cadastres des émissions à différentes échelles du territoire.

Pour cette étude, il est pertinent de connaître les émissions globales par polluant et secteur d'activité de la zone d'étude qui regroupe les communes de Bollwiller, Ungersheim, Feldkirch, Pulversheim et Raedersheim.

- **Emission de NO_x** : Le secteur du transport routier est le principal émetteur des émissions globales de NO_x (59%) de la zone d'étude. L'industrie qui est le second émetteur de NO_x représente 20% des émissions d'oxydes d'azote de la zone d'étude (Figure 16). A titre de comparaison, les émissions de NO_x du transport routier de la région Grand Est sont estimées à 53% (Cf. Chiffres clés 2016-Ed 2018).
- **Emission de particules PM₁₀** : Le secteur résidentiel représente 51% des émissions de particules PM₁₀ suivi par l'agriculture (25%) (Figure 17). A contrario, à l'échelle de la région Grand Est, c'est le secteur agricole qui est le premier émetteur de particules PM₁₀ (42%) (Cf. Chiffres clés 2016-Ed 2018).
- **Emission de N₂O** : L'agriculture, du fait des apports azotés sur les sols cultivés (engrais, etc.) est la principale source d'émission de protoxyde d'azote (86%) de la zone d'étude (Figure 18).
- **Emission de NH₃** : L'agriculture est le plus important émetteur d'ammoniac (NH₃) de la zone d'étude (98%) du fait de l'apport d'engrais azotés pour les cultures céréalières (Figure 19). A l'échelle de la grande région, 95% des émissions d'ammoniac proviennent du secteur agricole.

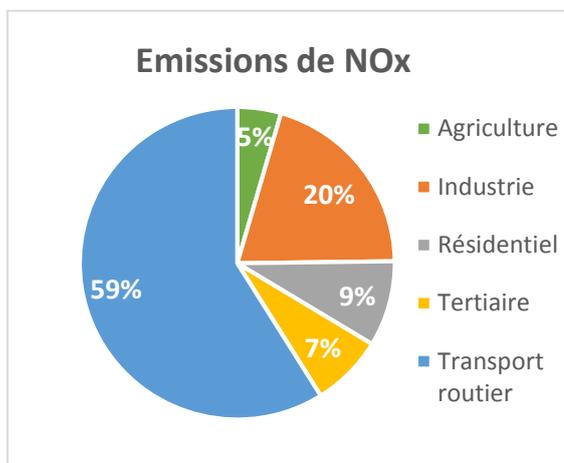


Figure 16 : Emissions globales de NOx de la zone d'étude (Inventaire V2018)

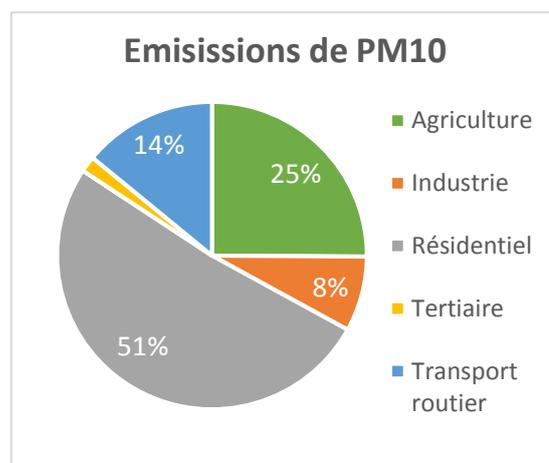


Figure 17 : Emissions globales de PM10 de la zone d'étude (Inventaire V2018)

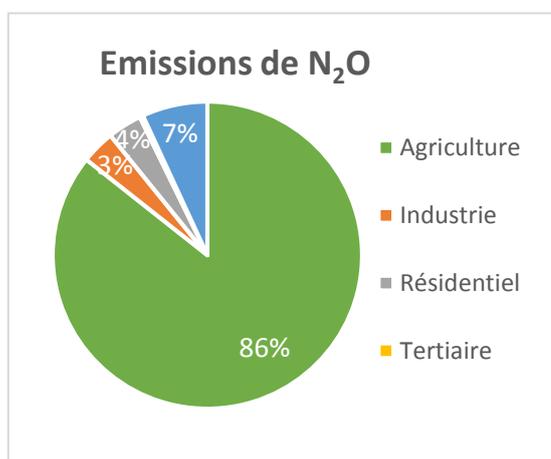


Figure 18 : Emissions globales de N₂O de la zone d'étude (Inventaire V2018)

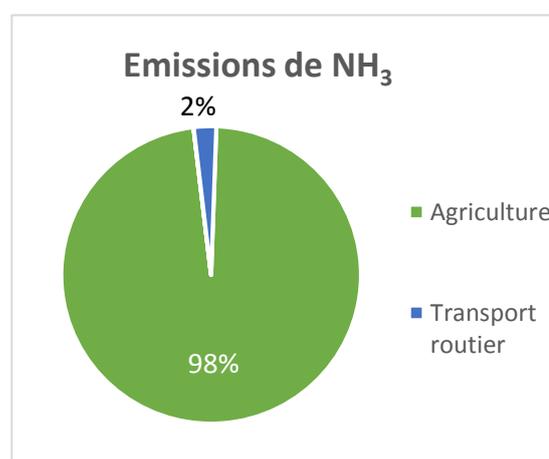


Figure 19 : Emissions globales de NH₃ de la zone d'étude (Inventaire V2018)

4. RESULTATS

4.1. LICHENS IDENTIFIES

L'inventaire des lichens des arbres a permis la détermination de 34 espèces de lichens (Cf. Annexe IV). Les lichens foliacés représentent plus de la moitié des espèces identifiées (56% et 19 espèces) et seulement 12% pour les lichens fruticuleux (4 espèces). (Figures 20 et 21).

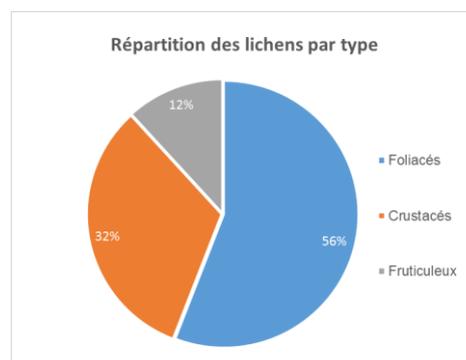


Figure 20 : Répartition des lichens par type de Thalle

Espèces de Lichens rencontrées au cours de l'étude :	Indice de nitrophilie (WIRTH V., 2010) :	Type de thalle
<i>Bacidia</i> sp.		crustacé
<i>Caloplaca pyracea</i> (Ach.) Th. Fr.	5	crustacé
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein	7	foliacé
<i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg.	8	crustacé
<i>Candelariella xanthostigma</i> (Ach.) Lettau	5	crustacé
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach., 1810	4	fruticuleux
<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale, 1986	4	foliacé
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl., 1896	3	foliacé
<i>Lecanora carpinea</i> (L.) Vain., 1888		crustacé
<i>Lecanora chlorotera</i> Nyl., 1872	5	crustacé
<i>Lecanora intumescens</i> (Rebent.) Rabenh., 1845	2	crustacé
<i>Lecanora subcarpinea</i> Szatala, 1954		crustacé
<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) M. Choisy, 1950	5	crustacé
<i>Lepraria incana</i> (L.) Ach., 1803	5	crustacé
<i>Melanelixia subaurifera</i> (Nyl.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch, 2004	5	foliacé
<i>Melanohalea elegantula</i> (Zahlbr.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch, 2004	5	foliacé
<i>Melanohalea exasperata</i> (DeNot.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch	3	foliacé
<i>Melanohalea exasperatula</i> (Nyl.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch, 2004	6	foliacé
<i>Ochrolechia pallescens</i> (L.) A.Massal., 1853	2	crustacé
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor s.l.	7	foliacé
<i>Parmelina tiliacea</i> (Hoffm.) Hale s.l.	6	foliacé
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> (Neck.) Moberg, 1977	9	foliacé
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H.Olivier, 1882	8	foliacé
<i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Fűrnr., 1839	5	foliacé
<i>Physcia leptalea</i> (Ach.) DC., 1805		foliacé
<i>Physcia tenella</i> (Scop.) DC., 1805	7	foliacé
<i>Physconia grisea</i> (Lam.) Poelt, 1965	8	foliacé
<i>Pleurosticta acetabulum</i> (Neck.) Elix & Lumbsch, 1988	5	foliacé
<i>Punctelia borreri</i> (Sm.) Krog, 1982	6	foliacé
<i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, 1903	2	fruticuleux
<i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach., 1810	4	fruticuleux
<i>Usnea</i> sp.		fruticuleux
<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th. Fr., 1861	8	foliacé
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr., 1860	8	foliacé

Figure 21 : Liste des lichens inventoriés sur les cinq communes de la zone d'étude

4.2. PHOROPHYTES⁴

Différents groupes de genre d'arbre, classés en fonction de leurs caractéristiques, sont énoncés dans la norme. L'objectif est d'avoir les caractéristiques les plus similaires pour tous les phorophytes de l'étude. Les 34 espèces de lichens identifiées sont réparties sur 5 essences de phorophytes (Figure 22). Le genre *Tilia*, est le phorophyte sur lequel les lichens sont les plus représentés et c'est aussi l'essence d'arbre d'ornement qui est la plus représentée dans les communes.

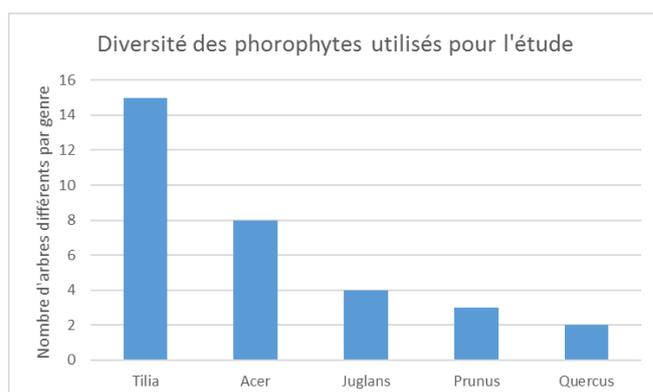


Figure 22 : Diversité des phorophytes

4.3. INDICES ECOLOGIQUES LICHENIQUE

Différents indicateurs écologiques, préconisés par la norme NF EN 16413, ont été utilisés pour caractériser la communauté lichénique : la richesse spécifique, la valeur de la diversité lichénique (LDV - *Lichen Diversity Value*) et la valeur de la diversité des indicateurs d'eutrophisation (LDVN - *Lichen Diversity Value Nitrophilous*).

4.3.1. Richesse spécifique

La richesse spécifique varie entre 9 et 23 espèces par site (Figure 23). Le nombre d'espèces déterminées lors de l'étude est conforme à une précédente étude sur Le Havre et ses environs (36 espèces - Air Normand, 2011). Une étude de biosurveillance s'appuyant sur la même norme de biosurveillance a été réalisée en 2014 dans le Parc Naturel Régional des Hautes Vosges (PNRHV) et a révélé une richesse spécifique de 83 taxons lichéniques. Cette information est donnée à titre informatif car la typologie de la zone d'étude était complètement différente (moyenne montagne) et la superficie couverte bien plus importante.

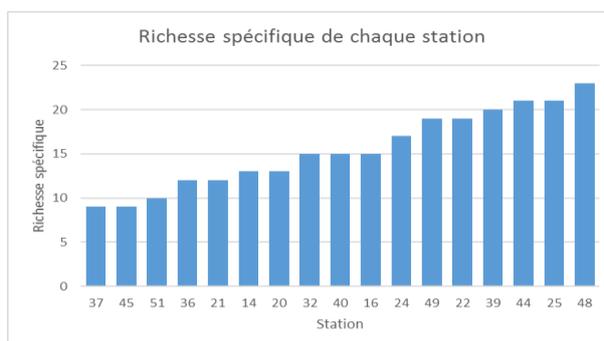


Figure 23 : Richesse spécifique par stations d'échantillonnage

⁴ Phorophyte : Végétal hôte ou support d'une espèce épiphyte

4.3.2. Indicateurs de diversité lichéniques (LDV, LDVN)

La valeur de diversité lichénique (LDV) présente une forte variabilité entre les stations d'échantillonnage ($58 < LDV < 133$) – Figure 24. Les stations d'échantillonnage présentant la diversité la plus faible se situent en zone centrale des villages (station 36-Raedersheim) ou au bord de la départementale D430 (station 51-Feldkirch). A l'inverse, les stations avec une diversité plus élevée se situent généralement à distance des grands axes de circulation en périphérie des villages (Station 24-périphérie de Raedersheim et Station 48-périphérie de Bollwiller). Les sites de prélèvement à l'ouest et au sud de la D430 affichent une plus grande diversité lichénique que les autres sites. A noter que la station 25 située à proximité d'une zone industrielle mais hors zone agricole, présente un comportement un peu atypique avec une LDV de 130.

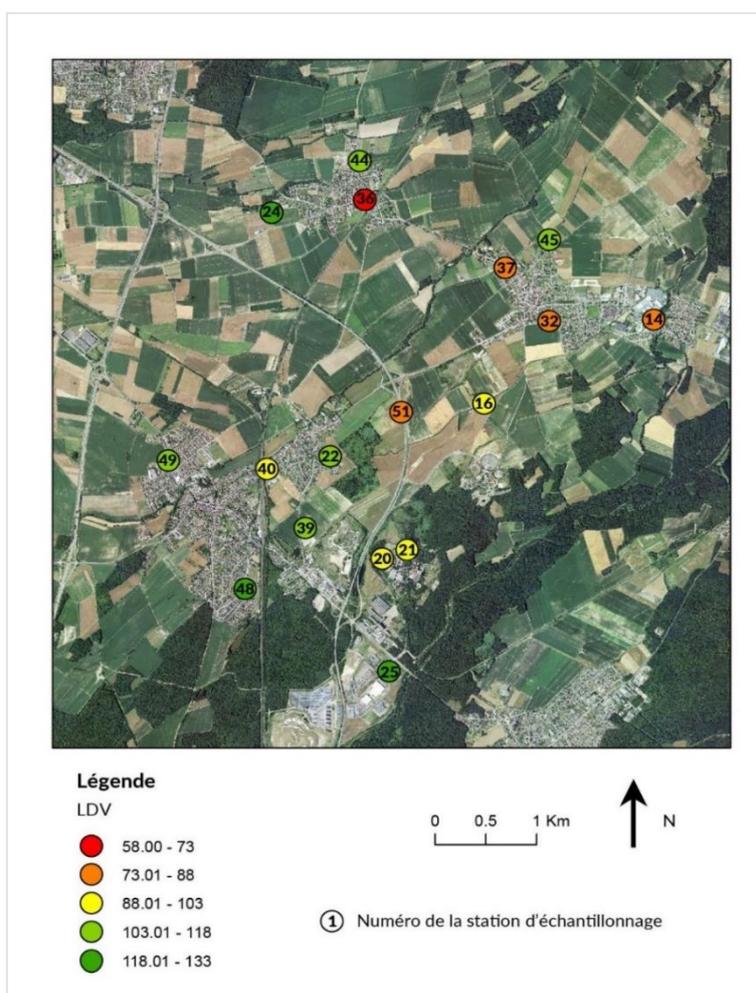


Figure 24 : LDV des différentes stations (Données : Orthophotographie IGN)

La valeur de diversité d'indicateur d'eutrophisation (LDVN) varie entre 42 et 77 (Figure 25). Les stations d'échantillonnage ayant les moins de lichens nitrophiles sont les stations 51-Feldkirch et 20-Ecomusée d'Alsace. Pour le premier site le nombre faible d'espèces de lichens nitrophiles est à mettre en relation avec le nombre faible de lichens total. Les stations d'échantillonnage avec un nombre de lichens nitrophiles les plus élevés se situent dans les zones d'habitation entourées par des zones de grandes cultures (stations 22-Feldkirch, 37-Ungersheim et 40-Bollwiller).

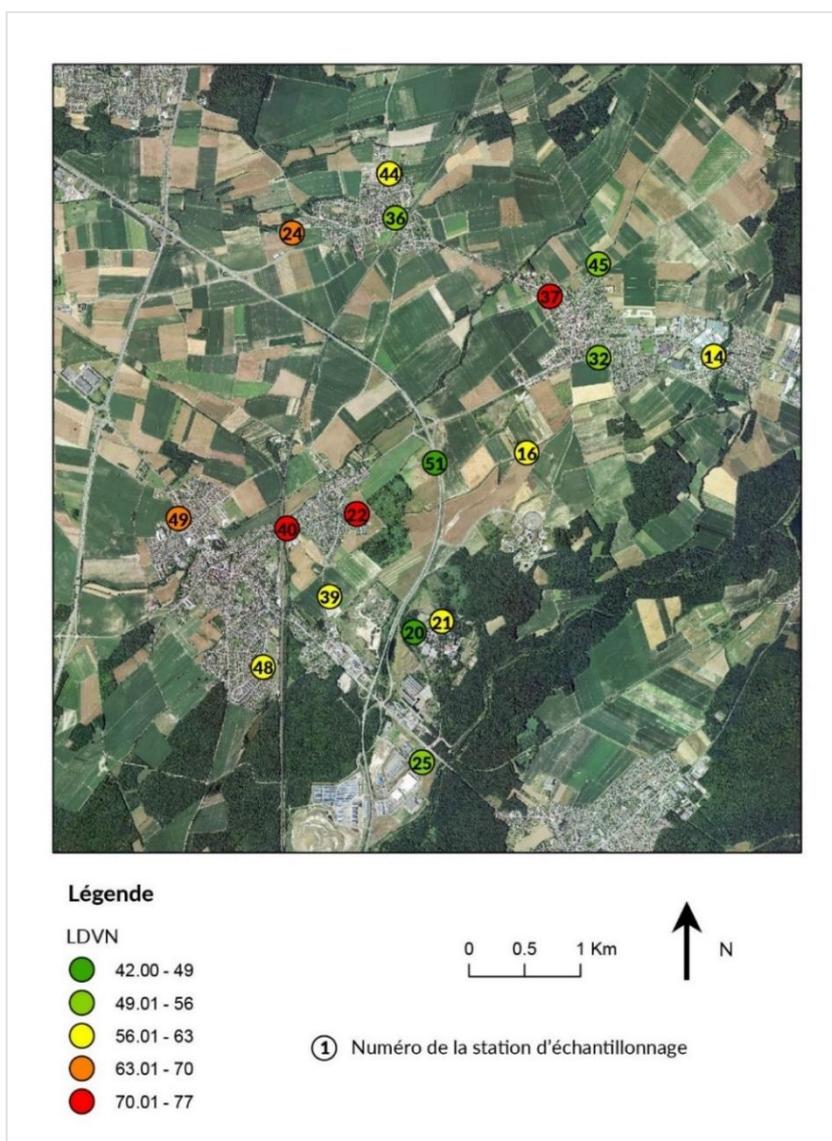


Figure 25 : LDVN des différentes stations (Données : Orthophotographie IGN)

Les variations de la LDVN ne sont pas spécialement liées à la LDV. L'indicateur d'eutrophisation (LDVN) est relativement stable sur l'ensemble des sites de prélèvement et se situe autour d'une valeur moyenne de 60. A contrario, la variabilité de la diversité lichénique (LDV) est plus importante entre les stations. (Figure 26).

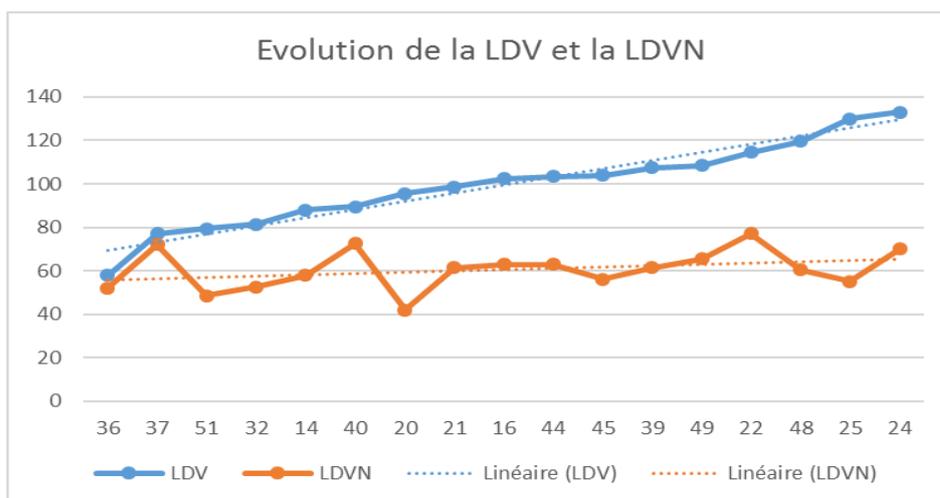


Figure 26 : Evolution de la LDV et de la LDVN - Sites classés par LDV croissante

Le calcul du ratio (LDVN/LDV) qui correspond au nombre de lichens nitrophiles sur le nombre de lichens totaux par site, varie de manière significative entre les stations, de 42% à 94% (Figure 27 et Annexe V). Certains sites sont composés en majorité de lichens non nitrophiles tandis que d'autres sont presque exclusivement constitués de lichens nitrophiles.

En examinant de plus près les stations d'échantillonnage qui présentent les ratios extrêmes (Tableau1) on remarque que :

- Les ratios les plus faibles concernent des stations d'échantillonnage qui se situent dans le sud de la zone d'étude et qui affichent une diversité lichénique plutôt élevée sans spécificité particulière pour l'indicateur d'eutrophisation (LDVN).
- Les ratios les plus élevés concernent des stations d'échantillonnage ayant une diversité lichénique plutôt faible et un indicateur d'eutrophisation plus élevé. Elles sont situées dans les zones d'habitation de villages.

	Stations	Ratio (%)	LDV	LDVN
	25-proximité d'une zone industrielle	42,3	++	+
	20-Ecomusée d'Alsace	44,0	=	--
	48-périphérie de Bollwiller	50,6	++	=
Ratios les plus élevés	40-Bollwiller	81,0	=	+
	36-Raedersheim	89,7	--	-
	37-Ungersheim	93,5	-	+

Tableau 1 : Classification des sites de prélèvements présentant des extremums dans le ratio LDVN/LDV

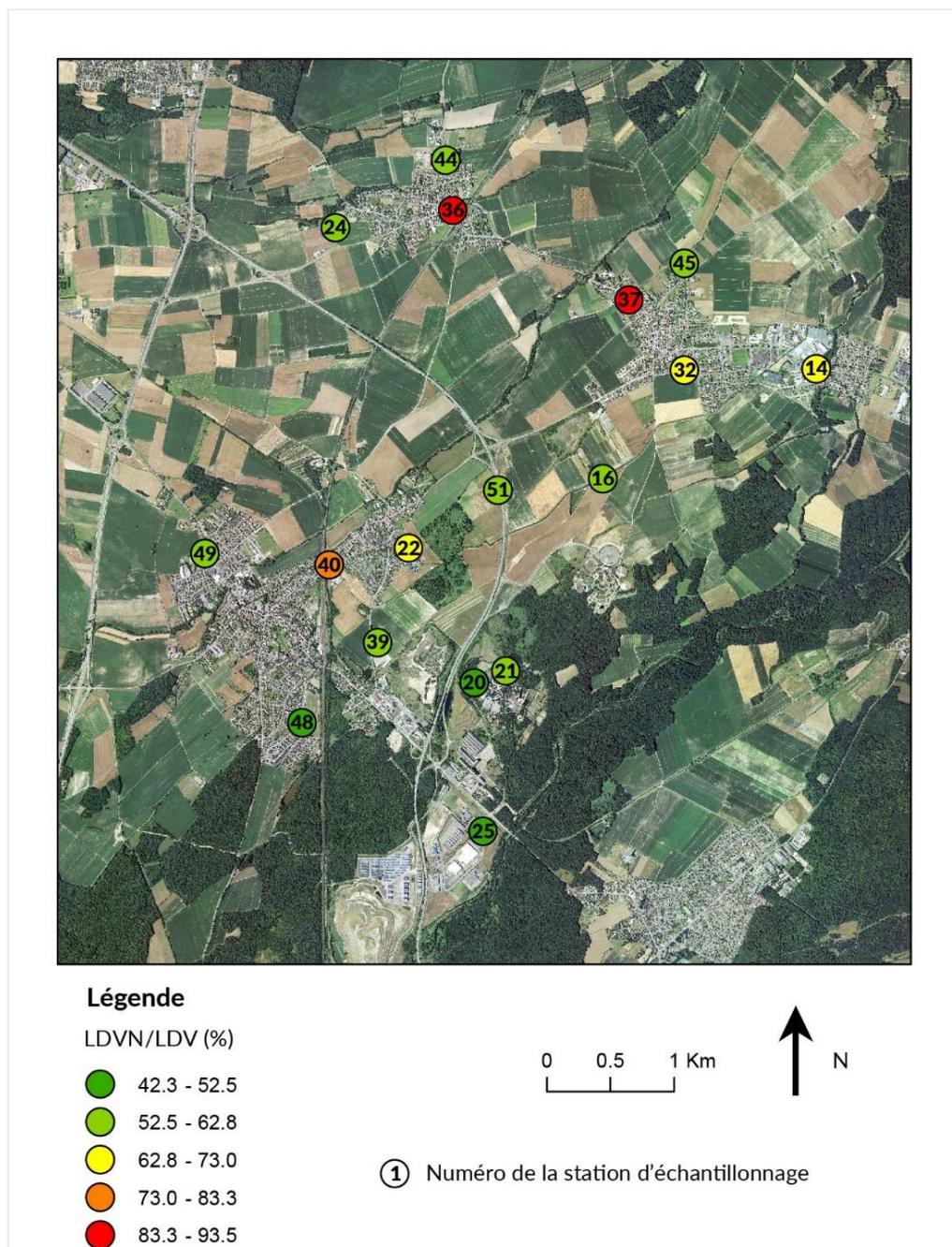


Figure 27 : Rapport entre la LDVN et la LDV (Données : Orthophotographie IGN)

4.3.3. Indicateurs potentiels du réchauffement climatique

Les lichens en tant que bioindicateurs écologiques sont des organismes très sensibles aux variations de leur environnement et donc des variations du climat. Parmi les 34 espèces recensées dans ce travail, cinq espèces de lichens (15%) sont susceptibles d'être des indicateurs potentiels du réchauffement climatique⁵ (Tableau 2). En s'appuyant sur ces lichens indicateurs du changement climatique, un protocole de suivi de ces lichens pourrait être mis en place sur une zone témoin par des relevés périodiques, par exemple tous les 5 ans.

Lichens inventoriés au cours de l'étude :	Indicateur du changement climatique :	Répartition en France d'après le "Catalogue des lichens et des lichens lichénicoles de France métropolitaine" (Claude ROUX) 20/03/2017 :
<i>Bacidia</i> sp.		
<i>Caloplaca pyracea</i> (Ach.) Th. Fr.		
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein		
<i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg.		
<i>Candelariella xanthostigma</i> (Ach.) Lettau		
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach., 1810		
<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale, 1986	X	Répartition uniforme sur le territoire national (Inventaire ≥ 1959)
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl., 1896		
<i>Lecanora carpinea</i> (L.) Vain., 1888		
<i>Lecanora chlorotera</i> Nyl., 1872		
<i>Lecanora intumescens</i> (Rebent.) Rabenh., 1845		
<i>Lecanora subcarpinea</i> Szatala, 1954		
<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) M. Choisy, 1950		
<i>Lepraria incana</i> (L.) Ach., 1803		
<i>Melanelixia subaurifera</i> (Nyl.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch, 2004		
<i>Melanohalea elegantula</i> (Zahlbr.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch, 2004	X	Répartition ponctuelle sur le territoire national, pratiquement absent de l'ouest de la France
<i>Melanohalea exasperata</i> (DeNot.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch		
<i>Melanohalea exasperatula</i> (Nyl.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch, 2004		
<i>Ochrolechia pallescens</i> (L.) A.Massal., 1853		
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor s.l.		
<i>Parmelina tiliacea</i> (Hoffm.) Hale s.l.		
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> (Neck.) Moberg, 1977		
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H.Olivier, 1882		
<i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Fümrr., 1839		
<i>Physcia leptalea</i> (Ach.) DC., 1805		
<i>Physcia tenella</i> (Scop.) DC., 1805		
<i>Physconia grisea</i> (Lam.) Poelt, 1965	x	Répartition uniforme sur le territoire national (Inventaire ≥ 1959)
<i>Pleurosticta acetabulum</i> (Neck.) Elix & Lumbsch, 1988		Répartition uniforme sur le territoire national (Inventaire ≥ 1959)
<i>Punctelia borrieri</i> (Sm.) Krog, 1982	x	Répartition uniforme sur le territoire national (Inventaire ≥ 1959)
<i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, 1903		
<i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach., 1810		
<i>Usnea</i> sp.		
<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th. Fr., 1861		
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr., 1860		

Tableau 2 : Espèces indicatrices du changement climatique (en jaune)

⁵ « Pollution atmosphérique n°226 de 2015 « Monitoring climate change with lichens as bioindicators » N. J Stapper ; V. John.

4.4. INDICATEURS LICHENIQUES ET DONNEES D'EMISSIONS

Cette partie tente de mettre en évidence quelques clefs de lecture entre les indicateurs lichéniques (LDV, LDVN et ratio LDVN / LDV) et des facteurs déterminants de la qualité de l'air issues des inventaires des émissions.

L'analyse concerne les oxydes d'azote, l'ammoniac et le protoxyde d'azote comme indicateur d'une pollution azotée et les particules PM10 comme un indicateur général de pollution. Pour ces polluants, un cadastre d'émissions à une résolution de 500m x 500m a été utilisé.

4.4.1. Relations émissions de NOx et Indicateurs lichéniques.

Les émissions de NOx à proximité des stations d'échantillonnage (Figure 28) varient, sur une maille de 0,25 km², de 7 200 kg pour la station la plus chargée (station 51) à moins de 114 kg pour la station 16 qui présente les émissions les plus faibles de la zone d'étude (Figure 29).

Concernant l'indice de diversité lichénique (LDV), on observe une augmentation significative de la LDV (échelle de droite) lorsque les émissions baissent même s'il existe une forte variabilité de la LDV entre les stations.

A contrario, l'indice d'eutrophisation (LDVN) qui caractérise les espèces nitrophiles présente une faible variabilité entre les stations ($42 < LDVN < 77$) ce qui tend à démontrer une relative homogénéité des caractéristiques de la zone d'étude : communes de la plaine d'Alsace (1 000 à 4 000 habitants) ceinturées de grandes cultures céréalières où le maïs prédomine et avec un tissu industriel peu développé.

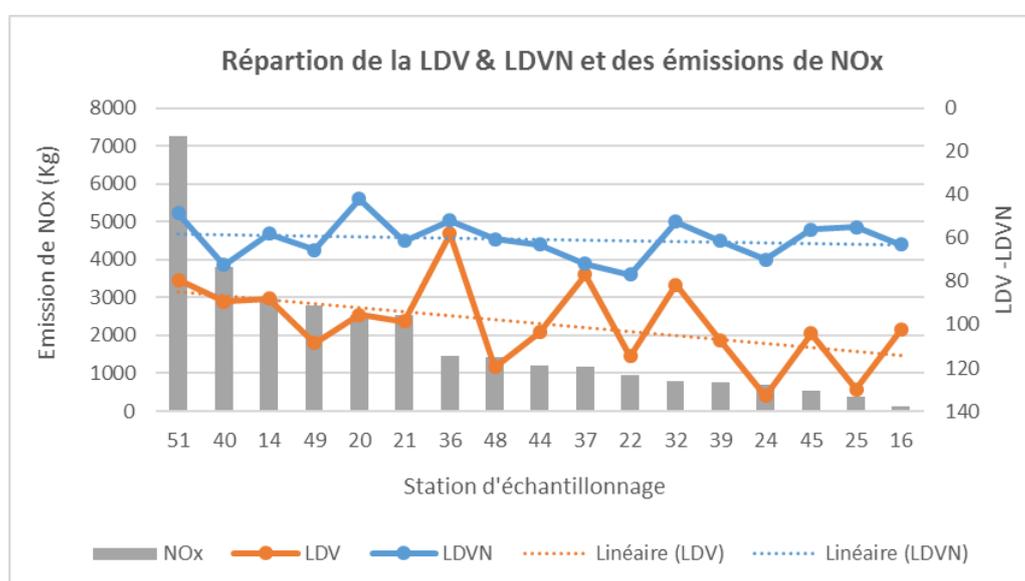


Figure 28 : Répartition de la LDV & LDVN et des émissions de NOx par station d'échantillonnage

La configuration des stations d'échantillonnage présente des situations différentes qui peuvent apporter en première approche des éléments explicatifs. Ces éléments qui ne sont que des hypothèses doivent être pris avec prudence.

- **La station 51** avec un environnement d'émissions de NOx le plus élevé, est située au bord de la départementale D430 où le trafic routier est important. A noter également que c'est la station dont la valeur de l'indice de diversité d'eutrophisation (LDVN) est le plus faible de la zone d'étude. Cette observation est concordante avec d'autres études en proximité routière.
- **La station 36** est localisée au centre de la commune de Raedersheim à plus de 20 m de la route principale. Les émissions de NOx environnantes se situent en dessous de la moyenne (1 464 kg sur la maille). L'indice de diversité lichénique (58) est le plus faible de l'ensemble des stations et la quasi-totalité des lichens de cette station sont des lichens nitrophiles, les plus toxico-tolérants à la pollution de l'air.
- A contrario, la station 24 présente l'indice de diversité le plus important de la zone d'étude (LDV=133). Cette station est située en zone périphérique de la commune de Raedersheim, entourée de champs de cultures maraichères. La bonne exposition aux vents peut expliquer cet indice de diversité élevée. A noter toutefois que le ratio (LDVN/LDV) qui correspond au taux de lichens nitrophiles par rapport au nombre total de lichens est de 53% (comparé à la moyenne globale de 63%) indiquant la part non négligeable des espèces liées au phénomène d'eutrophisation des milieux par apport d'engrais azotés (pertes par volatilisation ammoniacale).

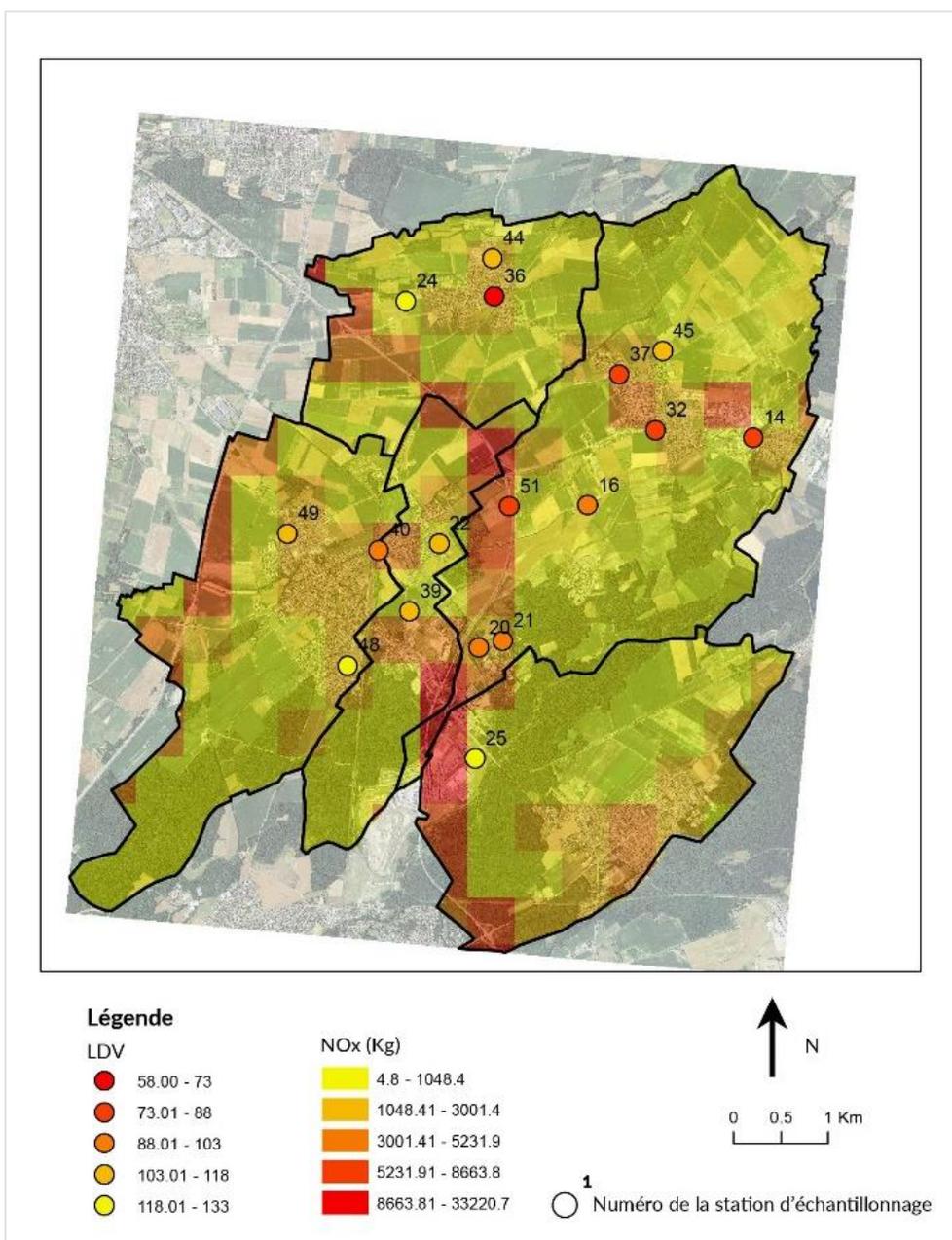


Figure 29 : Emissions de NOx et LDV
(Données : Inventaire 2014 / Orthophotographie IGN)

4.4.2. Relations émissions de PM10 et Indicateurs lichéniques.

Les émissions de PM10 par station d'échantillonnage varient, sur une maille de 0,25 km², de 2 054 kg pour la station la plus chargée (station 49) à 84 kg pour la station 36 qui présente les émissions les plus faibles de la zone d'étude (Figures 30 et 31).

On constate une similitude de comportement avec les émissions de NOx à savoir que la diversité lichénique augmente lorsque les émissions de particules PM10 baissent, avec toutefois une forte variabilité rendant l'interprétation délicate.

- La station 49 située sur un parking d'une zone résidentielle/tertiaire de la commune de Bollwiller présente les émissions de PM10 les plus élevées. La LDV se situe en dessous de la moyenne (89.5/99) alors que la LDVN est plutôt proche du maximum observé (72.5/77). Ainsi le rapport LDVN/LDV atteint 81% suggérant que la majorité des lichens nitrophiles identifiés sont affectés par les émissions issues des véhicules stationnant sur le parking et des résidences à proximité (figures 30).
- Le ratio LDVN/LDV varie de 42% à 94% pour la station la plus élevée (figure 31). Les stations d'échantillonnage avec un ratio supérieur à 80 sont situées principalement dans les villages (stations 40, 36 et 37).

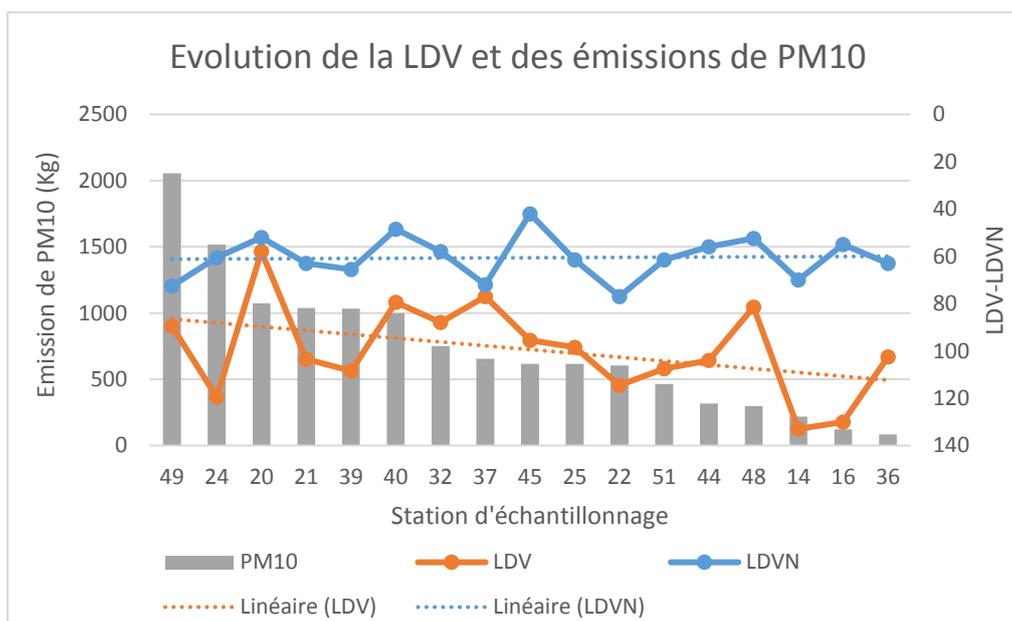


Figure 30 : Répartition de la LDV & LDVN et des émissions de PM10 par station d'échantillonnage

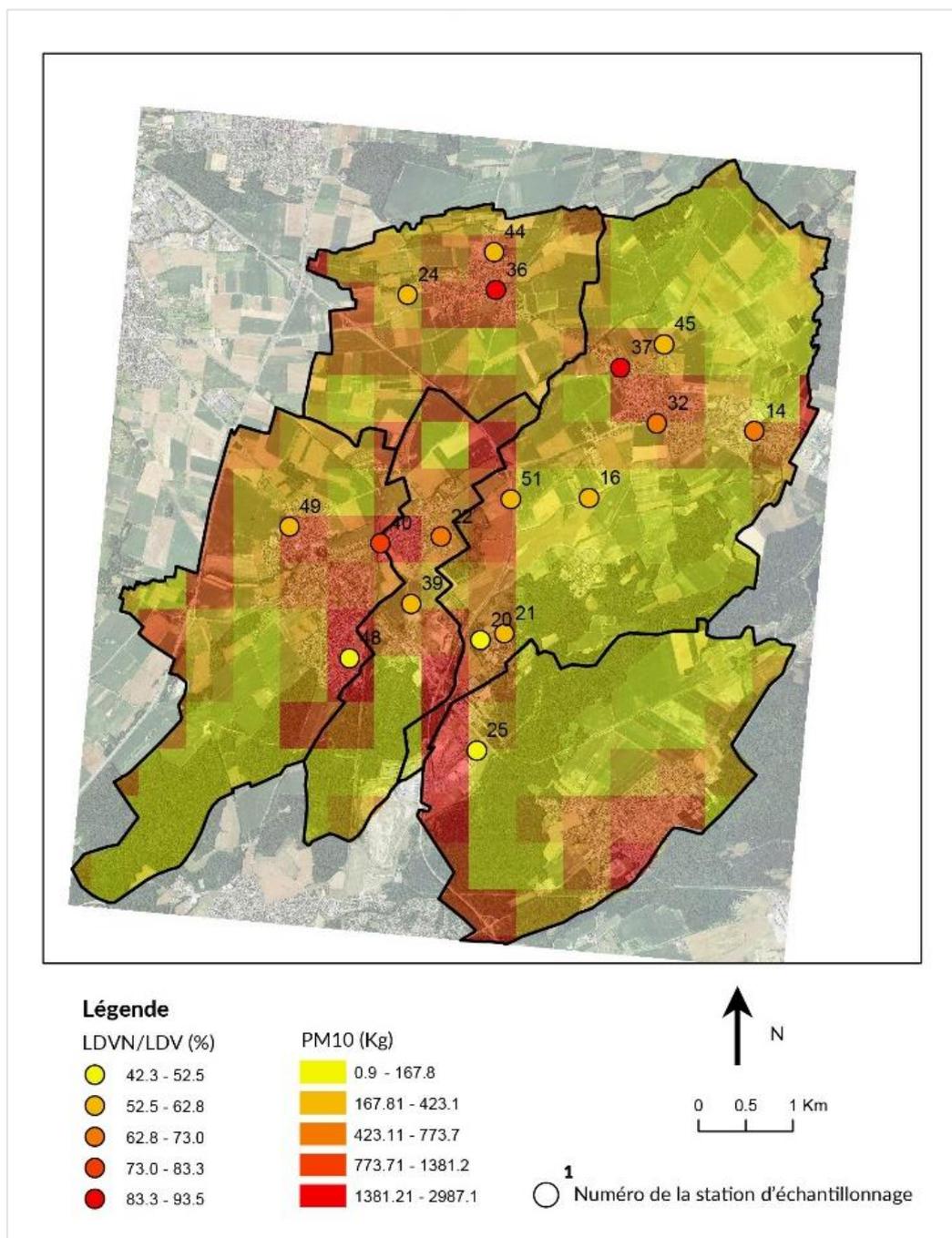


Figure 31 : : Emission de PM10 et rapport entre la LDVN et la LDV
(Données : Inventaire 2014 / Orthophotographie IGN)

4.5. INDICATEURS LICHENIQUES ET DONNEES DE MODELISATION

En complément des données issues des inventaires des émissions, les indicateurs LDV et LDVN ont été mis en regard des concentrations de polluants issues de la plateforme de modélisation PREV'EST d'ATMO Grand Est (Figure 32). Les concentrations de particules PM10 sur la zone d'étude présentent une faible variation des niveaux de concentration comprises entre 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les stations où la LDV est la plus faible sont situées en zones urbaines et péri-urbaines des communes de Raedersheim (station 36) et Ungersheim (stations 37, 32 et 14) correspondant à des niveaux de concentration compris entre 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

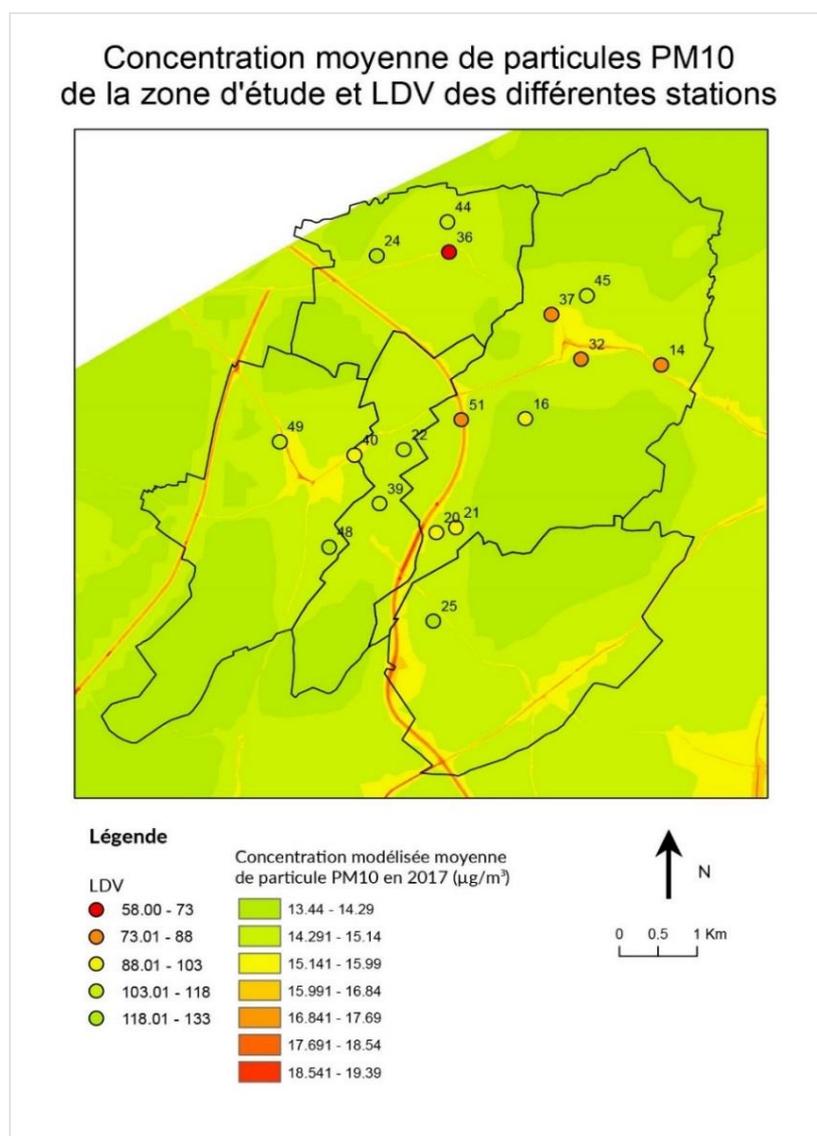


Figure 32 : Concentration moyenne de particules PM10 de la zone d'étude et LDV (Source donnée : Plateforme de modélisation PREV'EST)

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

5.1. INDICATEURS LICHENIQUES ET QUALITE DE L'AIR

Cette étude avait pour but de montrer qu'une étude de biosurveillance de la qualité de l'air basée sur la norme NF EN 16413 peut révéler l'impact des activités anthropiques sur l'environnement. Après avoir détaillé la méthodologie de l'étude, des interprétations ont pu être réalisées grâce à l'utilisation d'indicateurs lichéniques.

Les indicateurs lichéniques utilisés pour caractériser la qualité de l'air du site d'étude montrent que l'impact des zones d'habitation sur la diversité lichénique (LDV) est perceptible (la LDV diminue dans les villages). Les indicateurs (taux de lichens nitrophiles présent et constant sur pratiquement chaque site de la zone d'étude) révèlent la présence d'une pollution de fond azotée assez homogène.

L'abondance des espèces nitrophiles peut être mise en relation avec une pollution liée aux apports d'engrais azotés des cultures céréalières (ammoniac) d'une part et du trafic routier d'autre part (oxydes d'azote -NOx- et ammoniac -NH₃- issus des pots catalytiques des véhicules).

Le ratio LDVN/LDV qui correspond au pourcentage de lichens nitrophiles par station a permis de mettre en évidence des secteurs de la zone d'étude plus ou moins affectés par la pollution. Les ratios les plus élevés sont situés dans les zones d'habitation des villages et concernent les stations ayant une diversité lichénique (LDV) plutôt faible et un indicateur d'eutrophisation (LDVN) plus élevé.

5.2. INDICATEURS LICHENIQUES ET DONNEES D'EMISSIONS ET MODELISATION

Il était intéressant de croiser les valeurs des indicateurs lichéniques avec les données issues des inventaires des émissions.

Au vu des résultats, il apparaît de manière assez significative que les émissions d'oxydes d'azote (NOx) et/ou de particules PM₁₀ ont un impact négatif sur la diversité lichénique (LDV). A l'inverse, une grande diversité de lichens ne signifie pas systématiquement une bonne qualité de l'air ; cette diversité peut être liée à la présence des lichens nitrophiles, plus tolérants aux concentrations d'oxydes d'azote.

En complément des données issues des inventaires des émissions, les indicateurs ont été mis en regard des concentrations de particules PM₁₀ issues de la plateforme de modélisation PREV'EST d'Atmo Grand Est. Le croisement des données de la LDV et des concentrations de particules PM₁₀ corrobore les données issues de l'inventaire des émissions des particules PM₁₀, à savoir que les stations où la diversité lichénique (LDV) est la plus faible sont situées en zones urbaines et péri-urbaines des communes situées au Nord Est de la zone d'étude.

5.3. PERSPECTIVES

Cette étude initiale a permis de dresser un premier inventaire des lichens épiphytes de la zone d'étude, de les cartographier et de déterminer des indicateurs écologiques (LDV, LDVN, etc.) spécifiques à la norme NF EN 16413.

L'analyse des premières données de la campagne 2018 autour de l'Ecomusée d'Alsace permet de tirer quelques enseignements :

- Si l'impact des zones d'habitation sur la diversité lichénique (LDV) est perceptible (la LDV diminue dans les villages), les corrélations entre émissions à proximité immédiate (maille 500 x 500 m²) et la LDV ou la LDVN ne sont pas aisées à mettre en évidence pour les deux polluants étudiés (PM10 et NO_x).
- Il en est de même des corrélations entre indicateurs lichéniques (LDV et LDVN) et les concentrations dans l'air de PM10 et substances azote (NH₃, NO_x et N₂O). Une première explication est que les niveaux de concentrations en polluants de la zone d'étude présentent peu de variation. Pour exemple, les concentrations de PM10 varient en moyenne annuelle de 14,2 à 16,2 µg/m³ sur la zone d'étude.

Une solution serait d'appliquer la méthodologie de biointégration testée sur des zones moins uniformes du point de vue de la qualité de l'air (émissions, concentrations) en ciblant les grandes agglomérations par exemple ou à plus grande échelle sur un département. A noter qu'il faut toujours s'assurer de l'homogénéité géographique.

En 2019, ATMO Grand Est poursuivra l'évaluation de la mise en œuvre des méthodes de biosurveillance en déployant une étude de bioaccumulation sur une zone impactée par des émissions industrielles.

6. BIBLIOGRAPHIE

- AAIR LICHENS, Etude lichénologique – Indice Global de la Qualité de l’Air (IGQA) – Mise en place d’un parcours de l’air sur le périmètre de l’Agglomération Mulhousienne. 2004.
- AFNOR, Air ambiant – Biosurveillance à l’aide de lichens – Evaluation de la diversité de lichens épiphytes. 2014 NF EN 16413
- AGNAN Y., *Bioaccumulation et bioindication par les lichens de la pollution atmosphérique actuelle et passé en métaux et en azote en France : sources, mécanismes et facteurs d’influence*. 2013, Université de Toulouse.
- HELL I., *Evaluation de la pollution atmosphérique par la méthode des indices lichéniques au niveau de l’agglomération de Strasbourg*. 1993, Université de Strasbourg. 64 p.
- MAATOUG M., MEDKOUR K., AIT HAMMOU M., AYAD N., Cartographie de la pollution atmosphérique par le plomb d’origine routière à l’aide de la transplantation d’un lichen bioaccumulateur *Xanthoria parietina* dans la ville de Tiaret (Algérie). *POLLUTION ATMOSPHERIQUE* n° 205, 2010.
- ROUX C. et coll., Catalogue des lichens et champignons lichénicoles de France métropolitaine – Tome 2 (carte). Association française de lichénologie, 2017.
- CANOVA Guillaume et autres., Biosurveillance de la qualité de l’air sur l’agglomération de Besançon à l’aide de l’étude des lichens épiphytes - Université de Franche -Comté, 04/2013
- VAN HALUWYN C., ASTA J., Guide des Lichens de France. Belin, Saint-Just-la-Pendue, 2013.
- VAN HALUWYN C., LEROND M., Les lichens et la qualité de l’air. Evolution méthodologique et limites. Rapport final au ministère de l’Environnement (SRETIE). Paris, 1986.
- WIRTH V. Ökologische Zeigerwerte von Flechten. *Herzogia* n°23, 2010. p237-247.

7. ANNEXES

ANNEXE I : ORGANES SPECIFIQUES DES LICHENS

Les lichens possèdent des organes particuliers très importants à connaître et à reconnaître pour différencier les différentes espèces.

Les **apothécies** sont des organes en forme de bouton à la surface du thalle et renferment les asques qui sont les cellules abritant les spores du champignon. Elles ont généralement des formes de coupelle (concave) mais peuvent aussi être planes voire convexes, surtout sur les lichens crustacés. Le rebord peut être thallin (il remonte alors jusqu'au disque de l'apothécie, apothécie lecanorine) ou propre (apothécie lecidéine).

Les **isidies** sont des excroissances cortiquées qui ont aussi un rôle reproducteur. Effectivement, en se détachant elles emportent l'algue et le champignon à l'origine de la symbiose des lichens. Les isidies peuvent avoir des formes (cylindrique, en forme de spatule), des tailles (parfois à peine visibles à l'œil nu) et des couleurs différentes ainsi qu'une disposition (au centre du thalle ou sur les extrémités) spécifique à chaque espèce.

Les **sorédies** sont semblables aux isidies dans le sens où elles permettent la reproduction des lichens en se dispersant avec l'algue et le champignon. La différence est que les sorédies sont non-cortiquées et ont donc plus l'aspect de minuscules granules. Les sorédies se regroupent en amas sous le nom de soralies. Il s'agit d'éléments de détermination car les soralies peuvent être disposées différemment et les sorédies peuvent être de diamètres différents selon les espèces.

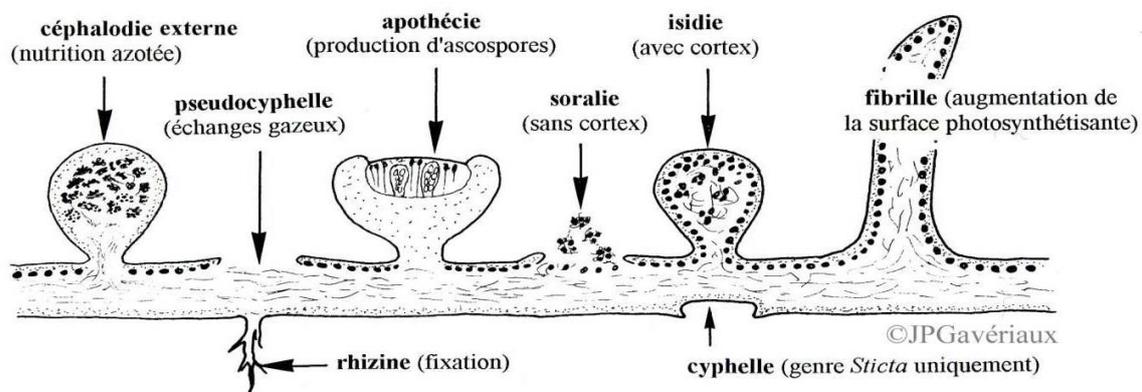
Les **périthèces** sont des poches enfoncées dans le thalle dans lesquelles les asques contenant des spores sexuées (ou ascospore) se forment. A maturité, les ascospores sont libérées par l'ostiole, une ouverture que l'on retrouve uniquement sur la face supérieure de certains lichens crustacés.

Les **pycnides** sont semblables aux périthèces mais libèrent des spores asexuées.

D'autres « organes » peuvent caractériser certaines espèces de lichens par leurs différences, par exemple les **rhizines** qui permettent aux lichens d'être plus ou moins ancrés au tronc. Ces rhizines peuvent être plus ou moins denses, elles peuvent dépasser du thalle inférieur sur certains lichens (*Phaeophyscia orbicularis* (Neck.) Moberg, 1977).

Les **fibrilles** sont de courtes ramifications filamenteuses simples jusqu'à 1 cm de long, possédant un cordon axial, concolore au thalle contenant des hyphes et des algues, augmentant de façon significative la surface photosynthétique, uniquement sur les *Usnea* et quelques *Alectoria*.

Les **cyphelles** et **pseudocyphelles** sont de fines ouvertures dans le cortex des lichens apparaissant en blanc car laissant apparaître la médulle. Il peut s'agir de simples « points » (*Punctelia borrieri* (Sm.) Krog) ou d'un réseau de pseudocyphelles (*Parmelia sulcata* Taylor). Elles permettent notamment d'augmenter les échanges gazeux avec le milieu environnant.

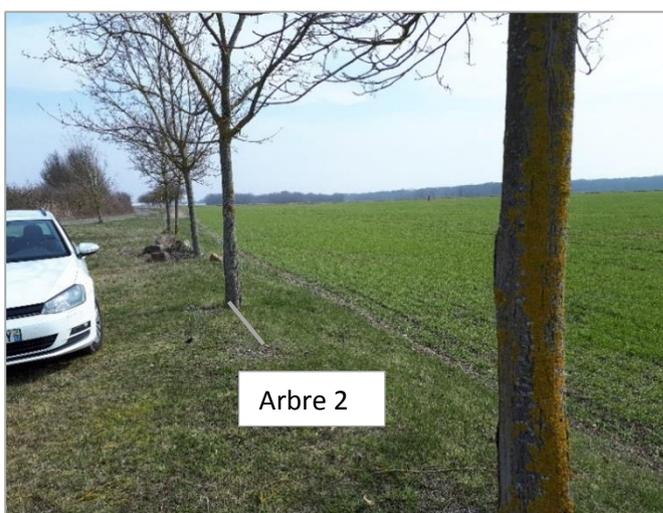
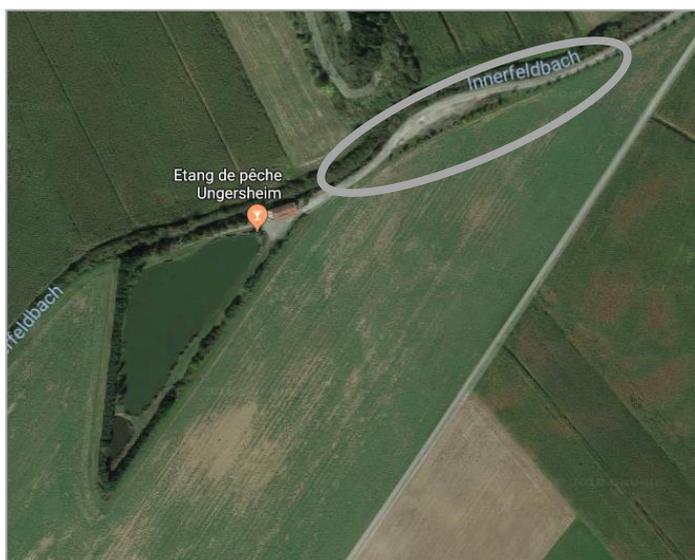


Shéma des organes portés par le thalle des lichens

(J.P GRAVERIAUX, Les lichens et la bioindication de la qualité de l'air)

Station n°	16	Arbre :	<i>Acer sp.</i>
Commune :	Ungersheim	Latitude :	47,8680
Date de relevé :	17/05/18	Longitude :	7,2977
INSEE commune :	68343	Altitude :	221

Description de la station : La station est située en zone rurale entourée de champs cultivés. Les arbres se trouvent sur le parking peu fréquenté d'un étang de pêche. Aucune route passante ne se situe dans les alentours.

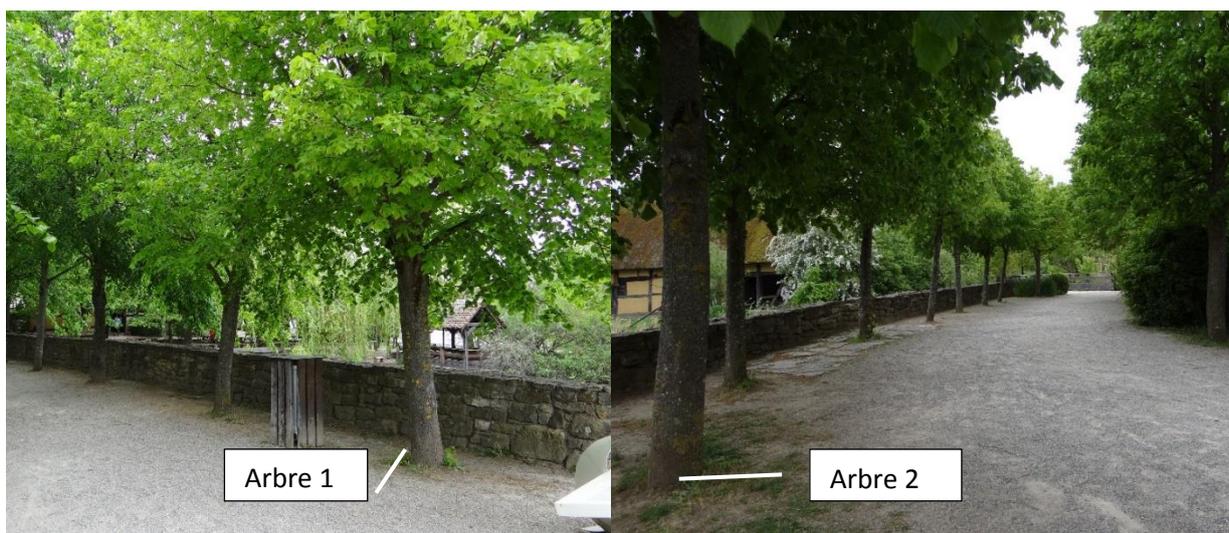
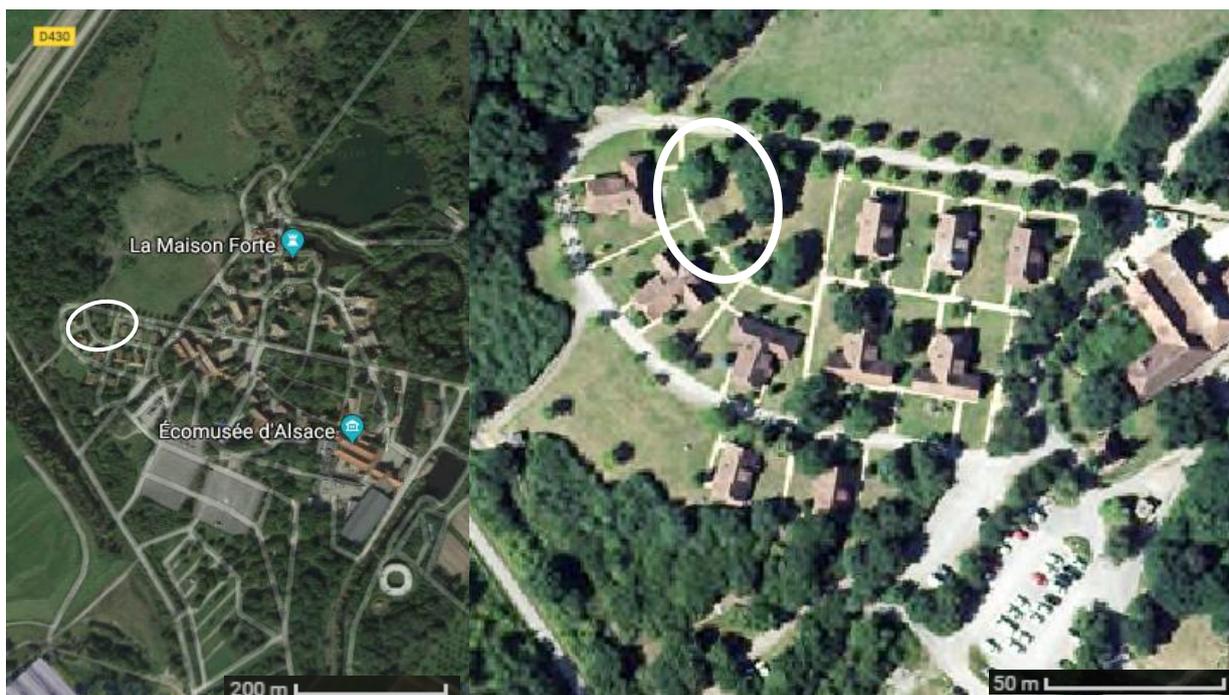


Arbre 2



Arbre 1

Station n°	20	Arbre :	<i>Acer sp.</i>
Commune :	Ungersheim	Latitude :	47,8539
Date de relevé :	19/04/18	Longitude :	7,2832
INSEE commune :	68343	Altitude :	230
Description de la station : Cette station est située dans l'Ecomusée d'Alsace, dans une zone peu fréquentée et sans accès aux voitures. La D430, l'axe le plus fréquenté de la zone d'étude, se trouve à près de 200 m.			



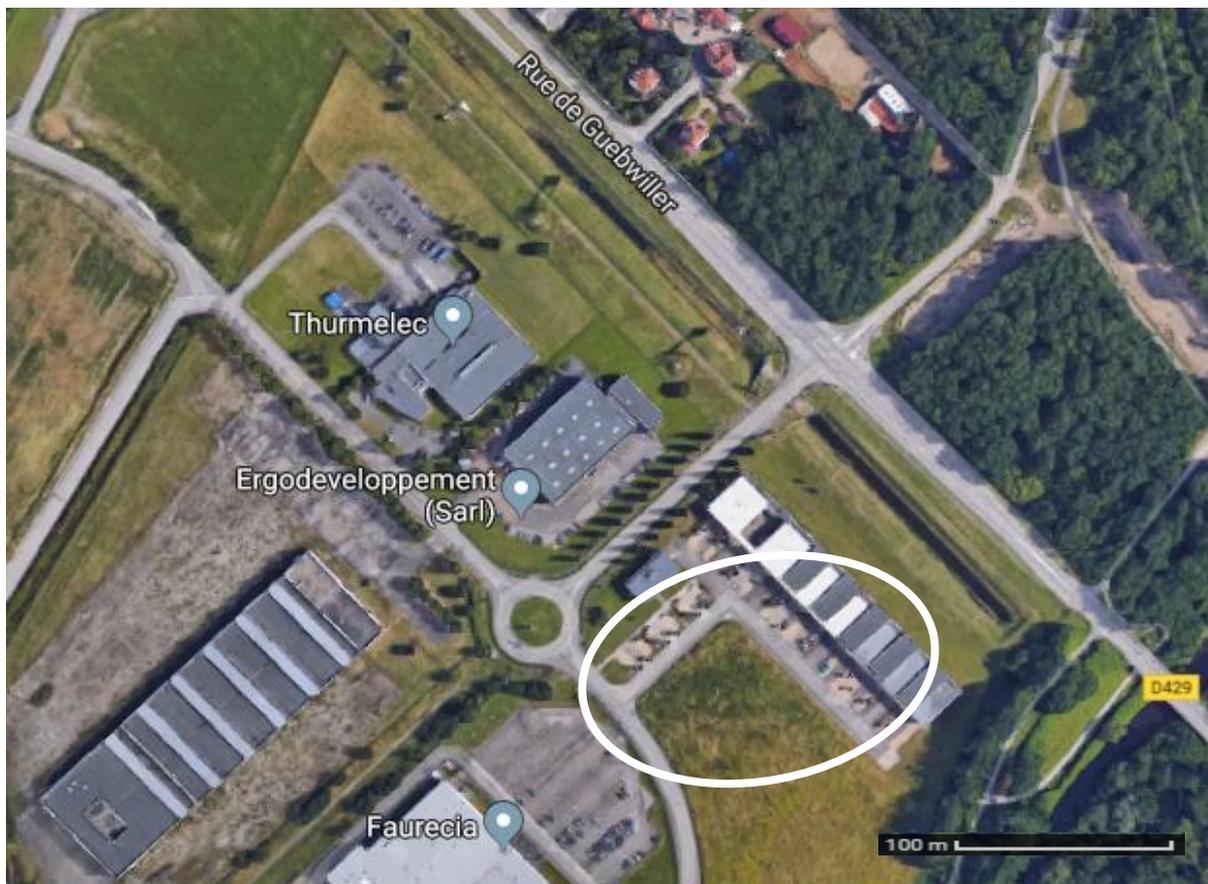
Station n°	22	Arbre :	<i>Tilia sp.</i>
Commune :	Feldkirch	Latitude :	47,8638
Date de relevé :	30/05/18	Longitude :	7,2771
INSEE commune :	68088	Altitude :	228
Description de la station : La station se trouve dans une rue peu fréquentée de Feldkirch, à plus de 150 mètres de la route principale de la commune. Cependant, le site se trouve à quelques mètres de champs cultivés.			



Station n°	24	Arbre :	<i>Acer sp.</i>
Commune :	Raetersheim	Latitude :	47,8870
Date de relevé :	05/04/18	Longitude :	7,2712
INSEE commune :	68260	Altitude :	235
Description de la station : La station se trouve au milieu de champs cultivés, les arbres sélectionnés à plus de 150 mètres d'une route plutôt fréquentée.			



Station n°	25	Arbre :	<i>Prunus sp.</i>
Commune :	Pulversheim	Latitude :	47,8432
Date de relevé :	26/04/18	Longitude :	7,2836
INSEE commune :	68258	Altitude :	237
Description de la station : La station se situe sur un parking peu fréquenté, à 100 m d'un axe routier et éloigné de tout champ cultivé. La présence d'un bâtiment entre la route et les arbres étudiés implique une meilleure protection du site.			



Station n°	32	Arbre :	<i>Tilia sp.</i>
Commune :	Ungersheim	Latitude :	47,8754
Date de relevé :	18/04/18	Longitude :	7,3072
INSEE commune :	68343	Altitude :	219
Description de la station : La station se situe le long d'une route peu fréquentée et le long de champs cultivés.			



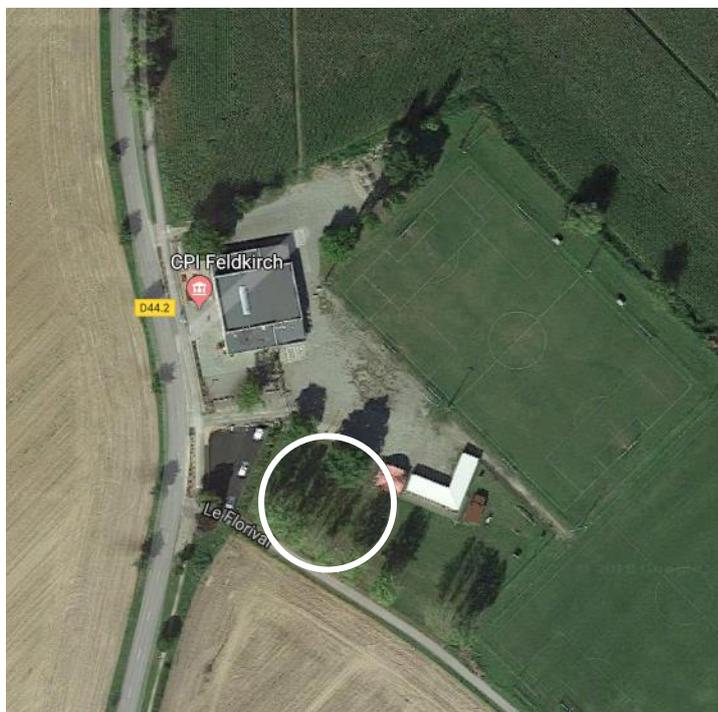
Station n°	36	Arbre :	<i>Tilia sp.</i>
Commune :	Raedersheim	Latitude :	47,8877
Date de relevé :	17/04/18	Longitude :	7,2835
INSEE commune :	68260	Altitude :	229
Description de la station : La station se situe au centre de la commune, à plus de 20 m de la route la plus fréquentée du village.			



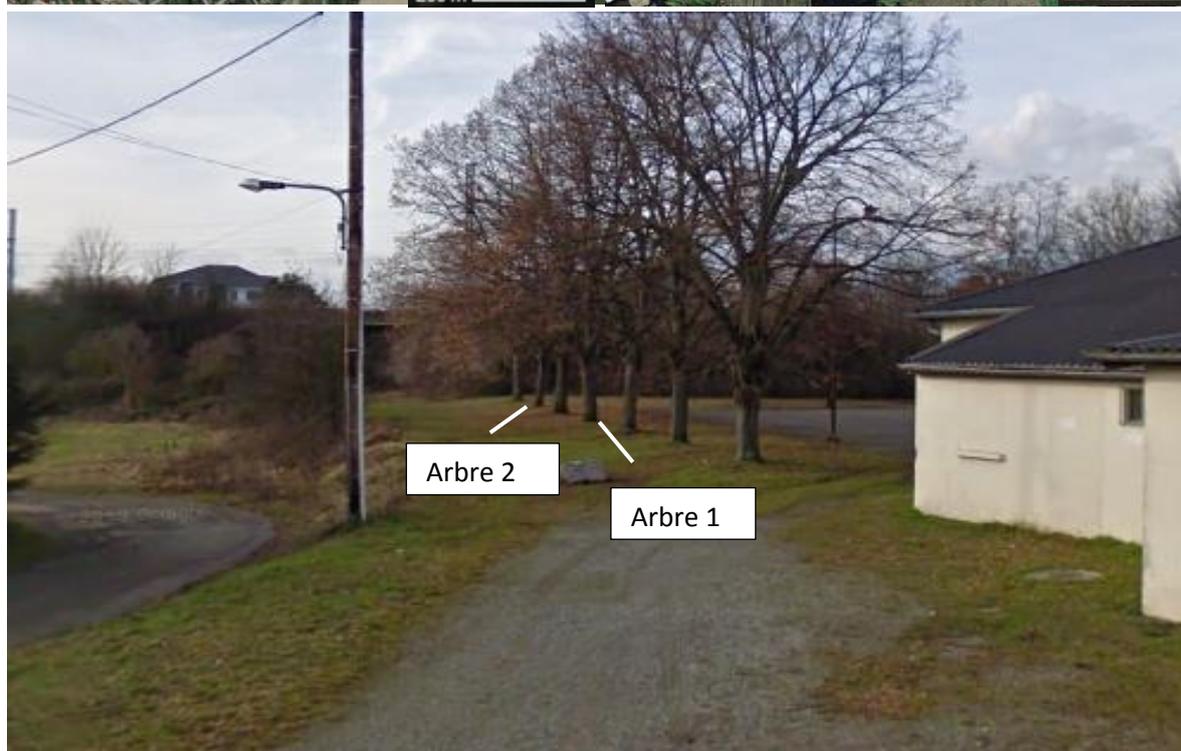
Station n°	37	Arbre :	<i>Tilia sp.</i>
Commune :	Ungersheim	Latitude :	47,8806
Date de relevé :	03/05/18	Longitude :	7,3017
INSEE commune :	68343	Altitude :	219
Description de la station : Cette station se situe à plus de 20 m de la route principale et à 50 m de champs cultivés.			



Station n°	39	Arbre :	<i>Quercus sp.</i>
Commune :	Feldkirch	Latitude :	47,8572
Date de relevé :	18/05/18	Longitude :	7,2732
INSEE commune :	68088	Altitude :	235
Description de la station : Cette station se situe sur le parking peu fréquenté d'un stade de foot, le long d'une route.			



Station n°	40	Arbre :	<i>Tilia sp.</i>
Commune :	Feldkirch	Latitude :	47,8628
Date de relevé :	26/04/18	Longitude :	7,2684
INSEE commune :	68088	Altitude :	235
Description de la station : La station se situe à 20 m de la route principale, très fréquentée.			

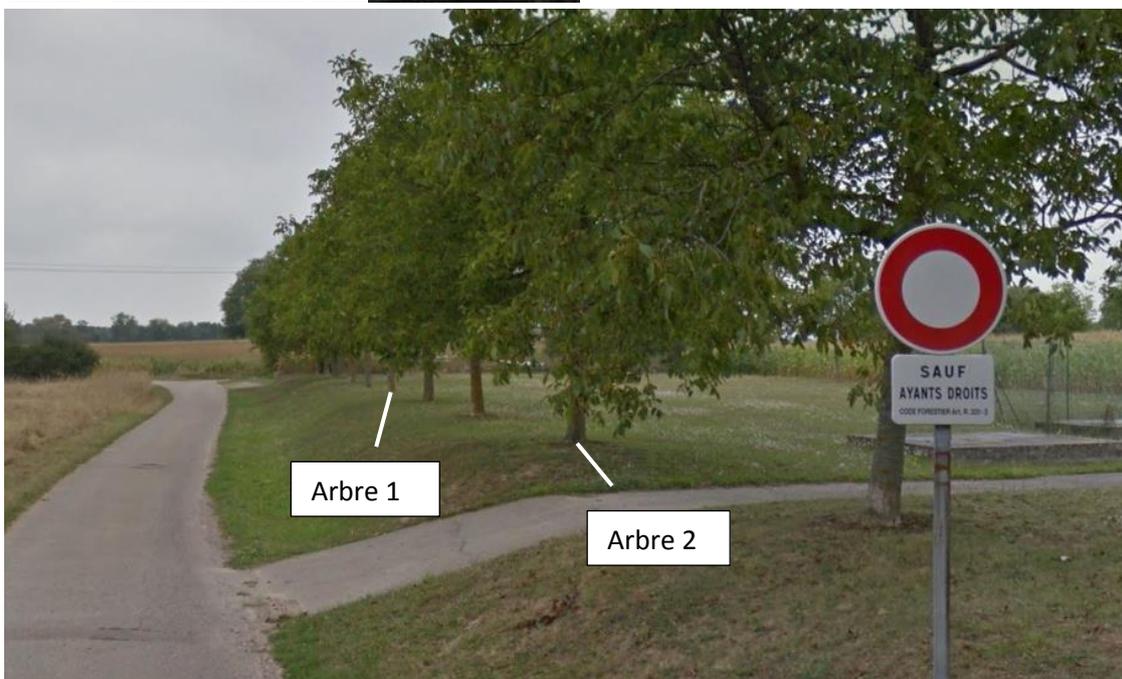
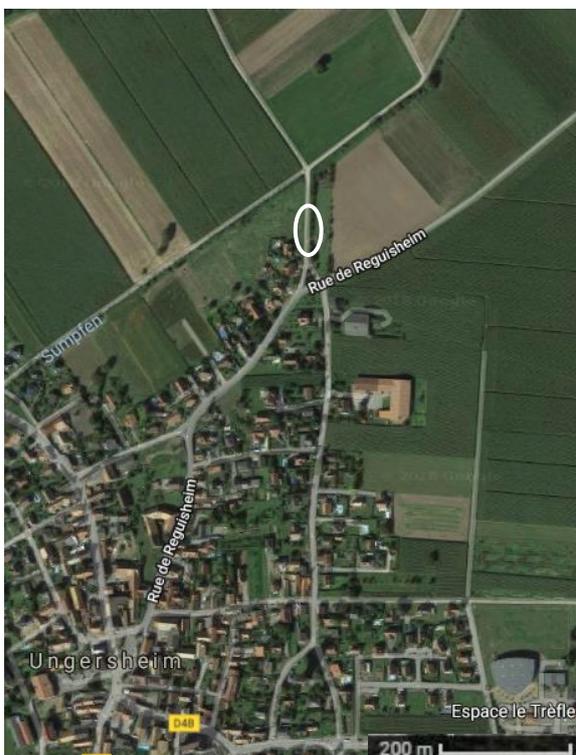


Station n°	44	Arbre :	<i>Tilia sp.</i>
Commune :	Raedersheim	Latitude :	47,8912
Date de relevé :	03/05/18	Longitude :	7,2832
INSEE commune :	68260	Altitude :	228

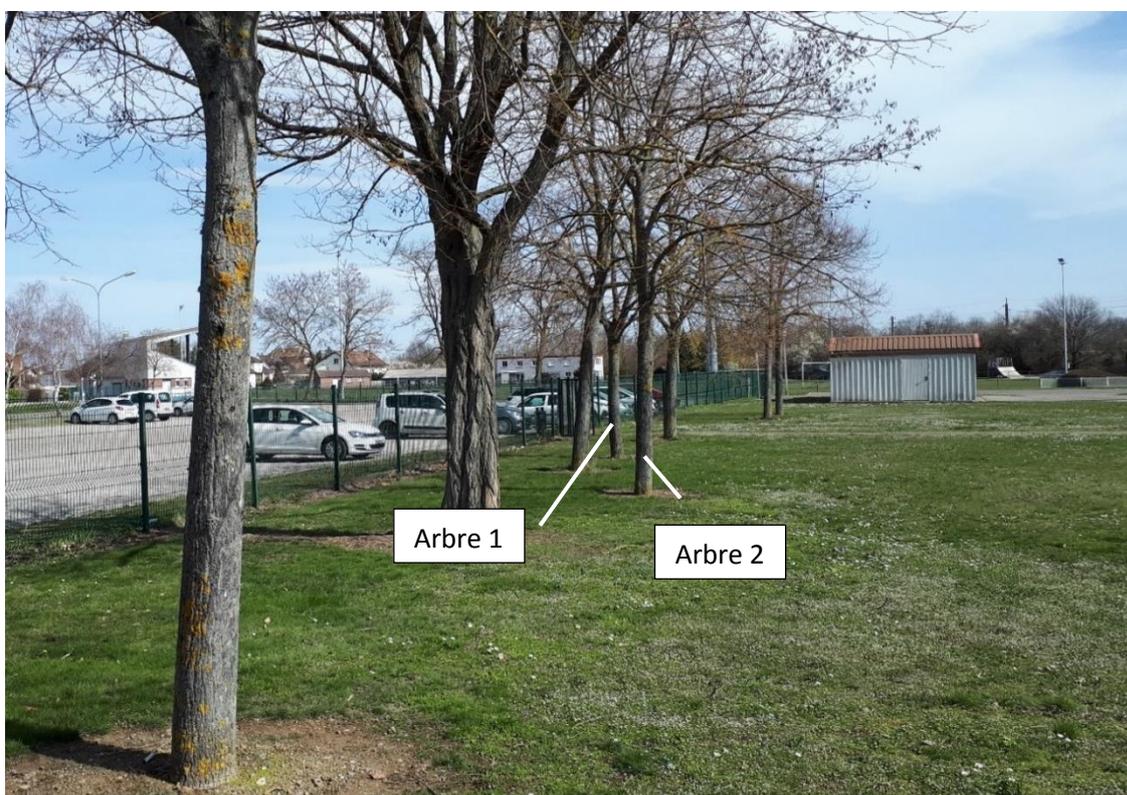
Description de la station : La station se situe sur le parking du stade de foot, les arbres sélectionnés sont à 50 mètres d'une route moyennement fréquentée.



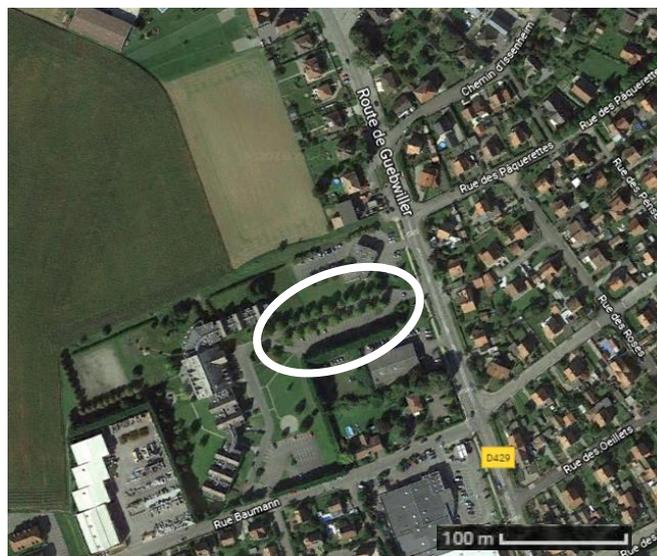
Station n°	45	Arbre :	<i>Juglans sp.</i>
Commune :	Ungersheim	Latitude :	47,8830
Date de relevé :	18/05/18	Longitude :	7,3076
INSEE commune :	68343	Altitude :	217
Description de la station : La station est entourée de zones cultivées et les arbres sélectionnés se situent à 50 mètres d'une route peu fréquentée.			



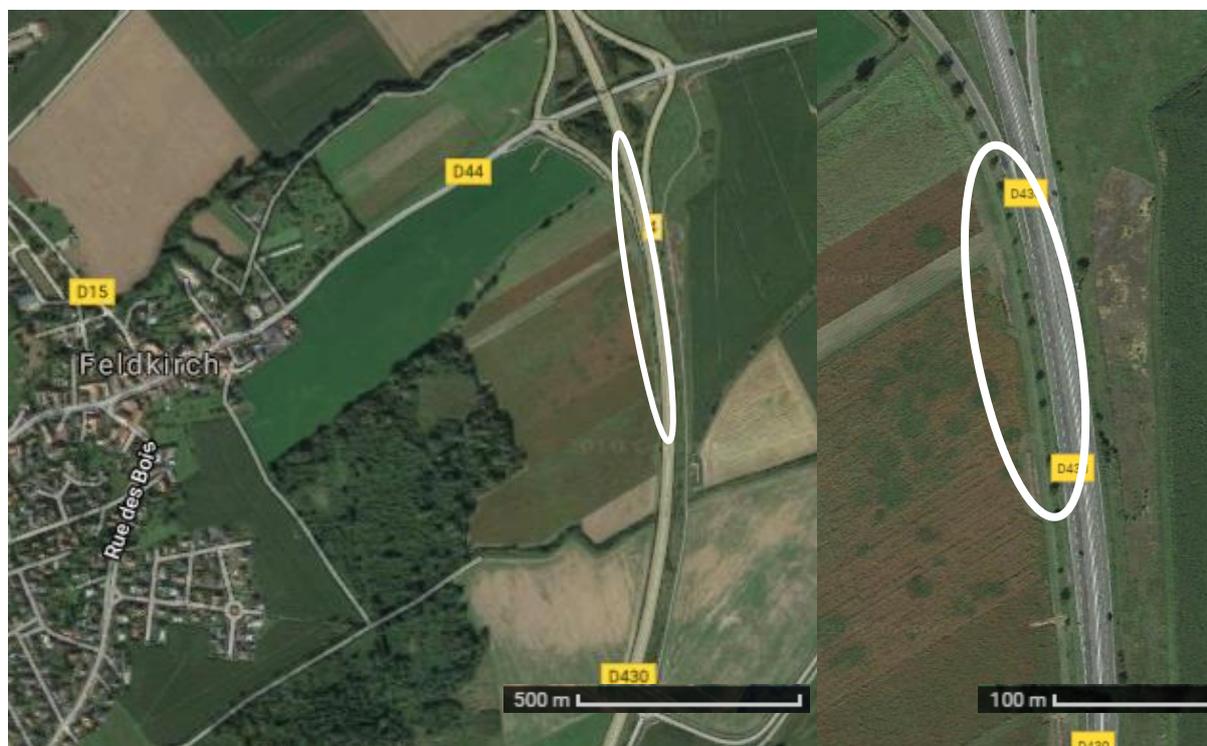
Station n°	48	Arbre :	<i>Tilia sp.</i>
Commune :	Bollwiller	Latitude :	47,8518
Date de relevé :	24/04/18	Longitude :	7,2649
INSEE commune :	68043	Altitude :	238
Description de la station : La station se situe dans l'enceinte d'un complexe sportif, à proximité d'un parking et d'une route très peu fréquentée.			



Station n°	49	Arbre :	<i>Acer sp.</i>
Commune :	Bollwiller	Latitude :	47,8641
Date de relevé :	31/05/18	Longitude :	7,2557
INSEE commune :	68043	Altitude :	240
Description de la station : La station se situe sur un parking peu fréquenté, à 50 m (pour les arbres sélectionnés) de la route principale de Bollwiller.			



Station n°	51	Arbre :	<i>Juglans sp.</i>
Commune :	Ungersheim	Latitude :	47,8678
Date de relevé :	24/05/18	Longitude :	7,2868
INSEE commune :	68343	Altitude :	225
Description de la station : Cette station témoin se situe le long de l'axe routier le plus fréquenté de la zone d'étude. Elle est aussi située de long de champs cultivés.			



Date de relevé :	15/05/18	Longitude :	7,7093
INSEE commune :		Altitude :	148
Description de la station : Cette station témoin à côté des locaux d'ATMO Grand-Est, à Schiltigheim nous a permis de voir une éventuelle évolution de la diversité biologique entre les stations du site d'étude et cette station. Cette station est située à 150 mètres d'une route fréquentée et à 200 mètres des premiers champs cultivés.			



ANNEXE IV : LISTE DES LICHENS INVENTORIES

Inventaire des lichens identifiés	Indice de nitrophilie (WIRTH V., 2010) :	Thalle
<i>Bacidia</i> sp.		crustacé
<i>Caloplaca pyracea</i> (Ach.) Th. Fr.	5	crustacé
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein	7	foliacé
<i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg.	8	crustacé
<i>Candelariella xanthostigma</i> (Ach.) Lettau	5	crustacé
<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach., 1810	4	fruticuleux
<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale, 1986	4	foliacé
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl., 1896	3	foliacé
<i>Lecanora carpinea</i> (L.) Vain., 1888		crustacé
<i>Lecanora chlorotera</i> Nyl., 1872	5	crustacé
<i>Lecanora intumescens</i> (Rebent.) Rabenh., 1845	2	crustacé
<i>Lecanora subcarpinea</i> Szatala, 1954		crustacé
<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) M. Choisy, 1950	5	crustacé
<i>Lepraria incana</i> (L.) Ach., 1803	5	crustacé
<i>Melanelixia subaurifera</i> (Nyl.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch, 2004	5	foliacé
<i>Melanohalea elegantula</i> (Zahlbr.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch, 2004	5	foliacé
<i>Melanohalea exasperata</i> (DeNot.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch	3	foliacé
<i>Melanohalea exasperatula</i> (Nyl.) O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch, 2004	6	foliacé
<i>Ochrolechia pallescens</i> (L.) A.Massal., 1853	2	crustacé
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor s.l.	7	foliacé
<i>Parmelina tiliacea</i> (Hoffm.) Hale s.l.	6	foliacé
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> (Neck.) Moberg, 1977	9	foliacé
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H.Olivier, 1882	8	foliacé
<i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Fürnr., 1839	5	foliacé
<i>Physcia leptalea</i> (Ach.) DC., 1805		foliacé
<i>Physcia tenella</i> (Scop.) DC., 1805	7	foliacé
<i>Physconia grisea</i> (Lam.) Poelt, 1965	8	foliacé
<i>Pleurosticta acetabulum</i> (Neck.) Elix & Lumbsch, 1988	5	foliacé
<i>Punctelia borrieri</i> (Sm.) Krog, 1982	6	foliacé
<i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, 1903	2	fruticuleux
<i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach., 1810	4	fruticuleux
<i>Usnea</i> sp.		fruticuleux
<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th. Fr., 1861	8	foliacé
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr., 1860	8	foliacé

Lichens nitrophiles	Indice de nitrophilie (WIRTH V., 2010) :
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein	7
<i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg.	8
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor s.l.	7
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> (Neck.) Moberg, 1977	9
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H.Olivier, 1882	8
<i>Physcia tenella</i> (Scop.) DC., 1805	7
<i>Physconia grisea</i> (Lam.) Poelt, 1965	8
<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th. Fr., 1861	8
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr., 1860	8

ANNEXE V : MISE EN RELATION DE DIFFERENTS INDICES ECOLOGIQUES LICHENIQUE ET DES DONNEES D'EMISSION

Site	Indicateurs lichéniques			Données d'émissions (kg) <i>Invent'Air A2016-V2018</i>			
	LDV	LDVN	LDVN/LDV	NOx	PM10	N2O	NH3
49	90	73	81%	3 818	2 054	202	540
24	120	61	51%	1 424	1 518	57	76
20	58	52	90%	1 464	1 074	121	440
21	104	63	61%	1 191	1 039	114	398
39	109	66	60%	2 793	1 033	67	126
40	80	49	61%	7 243	1 000	235	960
32	88	58	66%	2 964	752	92	275
37	77	72	94%	1 174	655	98	349
45	96	42	44%	2 550	617	27	42
25	99	62	62%	2 550	617	27	42
22	115	77	67%	939	604	103	331
51	108	62	57%	760	464	257	1 135
44	104	56	54%	538	317	90	372
48	82	53	64%	801	297	93	378
14	133	70	53%	712	218	138	613
16	130	55	42%	382	122	5	4
36	103	63	61%	114	84	85	387
Moyenne	99	61	63%	1 848	733	106	380
Min	58	42	42%	114	84	5	4
Max	133	77	94%	7 243	2 054	257	1 135



Air • Climat • Energie • Santé

Espace Européen de l'Entreprise - 5 rue de Madrid - 67300 Schiltigheim
Tél : 03 88 19 26 66 - Fax : 03 88 19 26 67 - contact@atmo-grandest.eu
Siret 822 734 307 000 17 - APE 7120 B

Association agréée de surveillance de la qualité de l'air