

Université de Lille
Faculté de Pharmacie

Année Universitaire 2022/2023

THESE

**POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

Soutenue publiquement le

Par M Rivart Simon

Les lichens bio indicateurs de la qualité de l'air

**Contribution à l'étude de la distribution des lichens
corticoles des jardins de Paris intramuros et du château de
Versailles**

Application au problème de la pollution atmosphérique

Membres du jury :

Président : COURTECUISSÉ Régis Professeur des universités, laboratoire des sciences végétales et fongiques

CUNY Damien, Professeur des universités, laboratoire des sciences végétales et fongiques

BOURGMAYER Stéphane, Pharmacien titulaire de la pharmacie de Mormal

RUCAR Joaquim, enseignant agrégé de sciences et vie de la terre

Faculté de Pharmacie de Lille

3 Rue du Professeur Laguesse – 59000 Lille

03 20 96 40 40

<https://pharmacie.univ-lille.fr>

Université de Lille

Président

Régis BORDET

Premier Vice-président

Etienne PEYRAT

Vice-présidente Formation

Christel BEAUCOURT

Vice-président Recherche

Olivier COLOT

Vice-présidente Réseaux internationaux et européens

Kathleen O'CONNOR

Vice-président Ressources humaines

Jérôme FONCEL

Directrice Générale des Services

Marie-Dominique SAVINA

UFR3S

Doyen

Dominique LACROIX

Premier Vice-Doyen

Guillaume PENEL

Vice-Doyen Recherche

Éric BOULANGER

Vice-Doyen Finances et Patrimoine

Damien CUNY

Vice-Doyen Coordination pluriprofessionnelle et Formations sanitaires Sébastien D'HARANCY

Vice-Doyen RH, SI et Qualité

Hervé HUBERT

Vice-Doyenne Formation tout au long de la vie

Caroline LANIER

Vice-Doyen Territoires-Partenariats	Thomas MORGENROTH
Vice-Doyenne Vie de Campus	Claire PINÇON
Vice-Doyen International et Communication	Vincent SOBANSKI
Vice-Doyen étudiant	Dorian QUINZAIN

Faculté de Pharmacie

Doyen	Delphine ALLORGE
Premier Assesseur et Assesseur en charge des études	Benjamin BERTIN
Assesseur aux Ressources et Personnels	Stéphanie DELBAERE
Assesseur à la Santé et à l'Accompagnement	Anne GARAT
Assesseur à la Vie de la Faculté	Emmanuelle LIPKA
Responsable des Services	Cyrille PORTA
Représentant étudiant	Honoré GUISE

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers (PU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	ALLORGE	Delphine	Toxicologie et Santé publique	81
M.	BROUSSEAU	Thierry	Biochimie	82
M.	DÉCAUDIN	Bertrand	Biopharmacie, Pharmacie	81
M.	DINE	Thierry	Pharmacologie, Pharmacocinétique	81
Mme	DUPONT-PRADO	Annabelle	Hématologie	82
Mme	GOFFARD	Anne	Bactériologie - Virologie	82
M.	GRESSIER	Bernard	Pharmacologie, Pharmacocinétique	81
M.	ODOU	Pascal	Biopharmacie, Pharmacie	80
Mme	POULAIN	Stéphanie	Hématologie	82
M.	SIMON	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique	81
M.	STAELS	Bart	Biologie cellulaire	82

Professeurs des Universités (PU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	ALIOUAT	El Moukhtar	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	AZAROUAL	Nathalie	Biophysique - RMN	85
M.	BLANCHEMAIN	Nicolas	Pharmacotechnie industrielle	85
M.	CARNOY	Christophe	Immunologie	87
M.	CAZIN	Jean-Louis	Pharmacologie, Pharmacocinétique	86
M.	CHAVATTE	Philippe	Institut de Chimie Pharmaceutique	86
M.	COURTECUISSÉ	Régis	Sciences végétales et fongiques	87
M.	CUNY	Damien	Sciences végétales et fongiques	87

Mme	DELBAERE	Stéphanie	Biophysique - RMN	85
Mme	DEPREZ	Rebecca	Chimie thérapeutique	86
M.	DEPREZ	Benoît	Chimie bioinorganique	85
M.	DUPONT	Frédéric	Sciences végétales et fongiques	87
M.	DURIEZ	Patrick	Physiologie	86
M.	ELATI	Mohamed	Biomathématiques	27
M.	FOLIGNÉ	Benoît	Bactériologie - Virologie	87
Mme	FOULON	Catherine	Chimie analytique	85
M.	GARÇON	Guillaume	Toxicologie et Santé publique	86
M.	GOOSSENS	Jean-François	Chimie analytique	85
M.	HENNEBELLE	Thierry	Pharmacognosie	86
M.	LEBEGUE	Nicolas	Chimie thérapeutique	86
M.	LEMDANI	Mohamed	Biomathématiques	26
Mme	LESTAVEL	Sophie	Biologie cellulaire	87
Mme	LESTRELIN	Réjane	Biologie cellulaire	87
Mme	MELNYK	Patricia	Chimie physique	85
M.	MILLET	Régis	Institut de Chimie Pharmaceutique	86
Mme	MUHR-TAILLEUX	Anne	Biochimie	87
Mme	PERROY	Anne-Catherine	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	ROMOND	Marie-Bénédicte	Bactériologie - Virologie	87
Mme	SAHPAZ	Sevser	Pharmacognosie	86
M.	SERGHERAERT	Éric	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	SIEPMANN	Juergen	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	SIEPMANN	Florence	Pharmacotechnie industrielle	85
M.	WILLAND	Nicolas	Chimie organique	86

Maîtres de Conférences - Praticiens Hospitaliers (MCU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	BLONDIAUX	Nicolas	Bactériologie - Virologie	82
Mme	DEMARET	Julie	Immunologie	82
Mme	GARAT	Anne	Toxicologie et Santé publique	81
Mme	GENAY	Stéphanie	Biopharmacie, Pharmacie	81
M.	LANNOY	Damien	Biopharmacie, Pharmacie	80
Mme	ODOU	Marie-Françoise	Bactériologie - Virologie	82

Maîtres de Conférences des Universités (MCU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	AGOURIDAS	Laurence	Chimie thérapeutique	85
Mme	ALIOUAT	Cécile-Marie	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	ANTHÉRIEU	Sébastien	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	AUMERCIER	Pierrette	Biochimie	87
M.	BANTUBUNGI-BLUM	Kadiombo	Biologie cellulaire	87
Mme	BARTHELEMY	Christine	Biopharmacie, Pharmacie	85
Mme	BEHRA	Josette	Bactériologie - Virologie	87
M.	BELARBI	Karim-Ali	Pharmacologie, Pharmacocinétique	86
M.	BERTHET	Jérôme	Biophysique - RMN	85
M.	BERTIN	Benjamin	Immunologie	87
M.	BOCHU	Christophe	Biophysique - RMN	85
M.	BORDAGE	Simon	Pharmacognosie	86
M.	BOSC	Damien	Chimie thérapeutique	86
M.	BRIAND	Olivier	Biochimie	87

Mme	CARON-HOUDE	Sandrine	Biologie cellulaire	87
Mme	CARRIÉ	Hélène	Pharmacologie, Pharmacocinétique	86
Mme	CHABÉ	Magali	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	CHARTON	Julie	Chimie organique	86
M.	CHEVALIER	Dany	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	DANEL	Cécile	Chimie analytique	85
Mme	DEMANCHE	Christine	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	DEMARQUILLY	Catherine	Biomathématiques	85
M.	DHIFLI	Wajdi	Biomathématiques	27
Mme	DUMONT	Julie	Biologie cellulaire	87
M.	EL BAKALI	Jamal	Chimie thérapeutique	86
M.	FARCE	Amaury	Institut de Chimie Pharmaceutique	86
M.	FLIPO	Marion	Chimie organique	86
M.	FURMAN	Christophe	Institut de Chimie Pharmaceutique	86
M.	GERVOIS	Philippe	Biochimie	87
Mme	GOOSSENS	Laurence	Institut de Chimie Pharmaceutique	86
Mme	GRAVE	Béatrice	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	GROSS	Barbara	Biochimie	87
M.	HAMONIER	Julien	Biomathématiques	26
Mme	HAMOUDI-BEN	Chérifa-Mounira	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	HANNOTHIAUX	Marie-Hélène	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	HELLEBOID	Audrey	Physiologie	86
M.	HERMANN	Emmanuel	Immunologie	87
M.	KAMBIA KPAKPAGA	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique	86
M.	KARROUT	Younes	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	LALLOYER	Fanny	Biochimie	87
Mme	LECOEUR	Marie	Chimie analytique	85

Mme	LEHMANN	Hélène	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	LELEU	Natascha	Institut de Chimie Pharmaceutique	86
Mme	LIPKA	Emmanuelle	Chimie analytique	85
Mme	LOINGEVILLE	Florence	Biomathématiques	26
Mme	MARTIN	Françoise	Physiologie	86
M.	MOREAU	Pierre-Arthur	Sciences végétales et fongiques	87
M.	MORGENROTH	Thomas	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	MUSCHERT	Susanne	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	NIKASINOVIC	Lydia	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	PINÇON	Claire	Biomathématiques	85
M.	PIVA	Frank	Biochimie	85
Mme	PLATEL	Anne	Toxicologie et Santé publique	86
M.	POURCET	Benoît	Biochimie	87
M.	RAVAUX	Pierre	Biomathématiques / Innovations	85
Mme	RAVEZ	Séverine	Chimie thérapeutique	86
Mme	RIVIÈRE	Céline	Pharmacognosie	86
M.	ROUMY	Vincent	Pharmacognosie	86
Mme	SEBTI	Yasmine	Biochimie	87
Mme	SINGER	Elisabeth	Bactériologie - Virologie	87
Mme	STANDAERT	Annie	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	TAGZIRT	Madjid	Hématologie	87
M.	VILLEMAGNE	Baptiste	Chimie organique	86
M.	WELTI	Stéphane	Sciences végétales et fongiques	87
M.	YOUS	Saïd	Chimie thérapeutique	86
M.	ZITOUNI	Djamel	Biomathématiques	85

Professeurs certifiés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
Mme	FAUQUANT	Soline	Anglais
M.	HUGES	Dominique	Anglais
M.	OSTYN	Gaël	Anglais

Professeurs Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	DAO PHAN	Haï Pascal	Chimie thérapeutique	86
M.	DHANANI	Alban	Droit et Economie pharmaceutique	86

Maîtres de Conférences Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	CUCCHI	Malgorzata	Biomathématiques	85
M.	DUFOSSEZ	François	Biomathématiques	85
M.	FRIMAT	Bruno	Pharmacologie, Pharmacocinétique	85
M.	GILLOT	François	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	MASCAUT	Daniel	Pharmacologie, Pharmacocinétique	86
M.	MITOUMBA	Fabrice	Biopharmacie, Pharmacie	86
M.	PELLETIER	Franck	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	ZANETTI	Sébastien	Biomathématiques	85

Assistants Hospitalo-Universitaire (AHU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	CUVELIER	Élodie	Pharmacologie, Pharmacocinétique	81
M.	GRZYCH	Guillaume	Biochimie	82
Mme	LENSKI	Marie	Toxicologie et Santé publique	81
Mme	HENRY	Héloïse	Biopharmacie, Pharmacie galénique	80
Mme	MASSE	Morgane	Biopharmacie, Pharmacie galénique	81

Attachés Temporaires d'Enseignement et de Recherche (ATER)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	GEORGE	Fanny	Bactériologie - Virologie / Immunologie	87
Mme	N'GUESSAN	Cécilia	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	RUEZ	Richard	Hématologie	87
M.	SAIED	Tarak	Biophysique - RMN	85
M.	SIEROCKI	Pierre	Chimie bioinorganique	85

Enseignant contractuel

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
M.	MARTIN MENA	Anthony	Biopharmacie, Pharmacie

Remerciement

Je tiens à remercier le plus chaleureusement possible Mrs Cuny Et Courtecuisse, ainsi que toute l'équipe de L'UMS Patrinat du MNHN pour leur patience et leur pédagogie. Ce fût un grand honneur et un réel plaisir de pouvoir rédiger cette thèse sous leur direction.

J'adresse également un grand merci à Mr Rucar et Mr Bourgmayer qui m'ont fait l'amitié et le plaisir de relire ce travail et d'y apporter intérêt et bienveillance.

Enfin, c'est à ma famille et à mes amis, que j'ai emmené sur la route des lichens et qui m'y ont suivi, que j'adresse mes plus sincères remerciements.

Cette thèse appartient d'abord et avant tout à mon père, lui qui aurait tant voulu la voir terminée.

Je sais en écrivant ces lignes que tu regardes par-dessus mon épaule comme tu le faisais quand j'étais enfant.

Juste, d'un peu plus loin...

TABLE DES MATIERES

I.	Introduction	15
II.	Contexte général.....	16
1.	Introduction (1).....	16
2.	Origine du concept de lichen.....	17
3.	La symbiose, clef du pouvoir d'adaptation	21
4.	Le Mycosymbiote.....	21
	Quels champignons ?	21
5.	Hétérotropie et relation avec le photosymbiote.....	22
6.	Reproduction sexuée.....	23
7.	Le photosymbiote (activité photosynthétique continue)	24
	Nature du photosymbiote	24
8.	Apports de nutrition	25
9.	La reproduction végétative	26
10.	La symbiose	26
11.	Présences sur tous les substrats : Adaptation à tous les milieux	29
12.	Types et structures des Thalles	30
	Les thalles crustacés	30
	Les thalles foliacés	30
	Les thalles fruticuleux	31
	Les thalles lépreux	32
	Les thalles composites	33
13.	Le structure interne des thalles	33
	Homogénéité et hétérogénéités des structures	33
14.	Mécanisme d'accumulation des polluants dans les thalles.....	35
15.	Effets des principaux polluants sur les lichens.....	36
	Méthodes d'études.....	36
	Effets sur la reproduction	37
	Effet sur La croissance	37
	Morphologie.....	38
	Ultrastructure et intégrité des membranes	38
	Photosynthèse et respiration	39
16.	Toxicité des lichens, usage médical industriel et alimentaire	39
III.	Utilisation des lichens dans l'évaluation de la qualité de l'air (1).....	41

1.	Les Méthodes d'évaluation qualitatives	42
	La Méthode Hawksworth et Rose (45)	42
	Méthode van Haluwyn et Lerond (47)	43
2.	Les Méthodes d'évaluation quantitatives (calcul d'un indice de pollution).....	46
	Leblanc et solvers (IPA) (30)	46
	Norme AFNOR (49) = IBLE.....	47
	Sciences participatives.....	49
IV.	Le cortège lichénique parisien, étude historique et campagnes récentes	51
1.	Méthodes d'analyses passées et actuelles dans Paris. (contexte)	51
	Paris et l'histoire de l'étude de qualité de l'air grâce aux lichens.....	51
2.	Chronologie des études régionales et type de pollution étudié.....	52
	De 1866 à 1890 De l'abondance au désert. (Nylander) (6,49)	52
	Fin de la guerre, déclin du charbon, essor de l'automobile personnelle ;.....	55
	1970 à nos 1981 la pollution change.....	55
	De 1981 à 1991, du désert au repeuplement.....	59
3.	Lebreton et Rivart ATM LiPaChe.....	59
	Matériel et méthodes	60
	Protocole de terrain utilisé	62
4.	Résultats	63
5.	Tableau de synthèse des taxons retrouvés dans les sites parisiens échantillonnés	63
	Répartition spatiale des lichens.....	68
V.	Étude du cortège du parc du château de Versailles	70
1.	Matériel et méthode	70
	Site d'étude Parc du Château de Versailles.....	70
	Protocole d'étude	73
2.	Présentation des zones étudiées.....	76
	Essais sur le nouveau substrat pulvérulent	76
	« Petit Trianon » vs « pavillon français ».....	78
3.	Zones non retenues	91
4.	Comparaison aux dernières études faites dans le parc.....	95
5.	Résultats	96
	Description globale du jeu de données.....	96
	Analyse qualitative du cortège	97
	Description par station du jeu de données	99
	Conclusion de l'analyse qualitative du jeu de données	120

Conclusion	121
VI. Annexes	122
VII. Table des figures	130
VIII. Bibliographie	132

I. Introduction

Les lichens sont des organismes aux multiples facettes. Ils sont connus et utilisés depuis l'antiquité et ont fait l'objet d'un long débat quant à leur nature profonde, notamment au XIX^{ème} siècle. Bien qu'aujourd'hui leur place dans l'arbre du vivant est fixée, la leur trouver n'a pas été un exercice aisé. Comment caractériser ces organismes parfois si petits, parfois majestueux, aux formes et couleurs variées et présents des forêts les plus denses jusqu'aux steppes les plus arides. Roches, écorces, feuilles toitures des habitations, ils sont présents partout et pourtant bien souvent ignorés ou mal compris.

C'est avec la révolution industrielle que l'homme commence à prendre conscience de l'impact des panaches de fumées noires qui sortent jours et nuits des cheminées de ses usines à charbon. Et c'est alors que de fins observateurs se sont posé une question, de laquelle découlera des méthodes de plus en plus fines de mesure, où sont donc passés les lichens d'antan ? C'est avec leur disparition qu'ils acquièrent leur lettre de noblesse « d'hygiomètre » de la qualité de l'air.

Petit à petit, les lichénologues se mirent à les chercher, à décoder ces messages accrochés aux arbres par la nature qui nous mettaient en garde contre les dommages des activités humaines.

Enfin, la deuxième partie du XX^{ème} siècle vit les nuages noirs des fumées d'usine quitter les centres urbains, et les lichens revenir petit à petit, laissant dans les herbiers les traces de notre histoire.

Ils n'en finirent pas pour autant de renseigner celui qui voudra apprendre à décoder les paysages qu'ils forment le long des troncs. Alors qu'on échantillonnait à l'échelle d'une ville, c'est aussi à l'échelle de quelques mètres qu'ils nous apprennent à voir les changements d'un milieu.

II. Contexte général

1. Introduction (1)

« Un lichen est une association stable indépendante entre un mycosymbiote et un photosymbiote dans laquelle le mycosymbiote est le partenaire englobant l'autre, dans une structure originale, le thalle lichénique. » (2)

Par stable et indépendant, René Coste entend que les partenaires de cette association ont co-évolué et ont modifié leur génome pour s'associer dans un organisme spécifique capable de transmettre leurs caractères à leurs descendants. Ils sont alors devenus des organismes aux caractères stables dans le temps, et indépendants des aléas de l'environnement quant à leur rencontre et leur association. Il souligne également par le terme indépendant leur caractère « pionnier, ubiquiste et cosmopolites » (2)

Présents dans quasiment toutes les régions de la terre (des pôles (3) aux forêts tropicales en passant par les déserts) (4) les lichens offrent un impressionnant panel de couleurs, de formes, de tailles, de support et de mode de vie. Des lichens dont la taille ne dépasse pas le millimètre aux formes fruticuleuses de plus de 2 mètres pendant des arbres des forêts tropicales, cette « forme de vie » recouvre près de 8% de la surface du globe.

Véritable « écosystème » en miniature, les lichens sont des « pionniers », (5) pavant la voie pour l'installation des végétaux supérieurs. « Depuis les rochers maritimes jusqu'au sommet des montagnes, en passant par les déserts arides. Il n'y a guère que la haute mer, les zones fortement polluées et les tissus animaux où ils font défaut » (1)

Malgré son pouvoir d'adaptation hors norme, au début du siècle ils ont déserté les centres urbains et leurs industries polluantes pour ne venir s'y réinstaller que progressivement. (6)

Ainsi, depuis le début du siècle dernier, les lichens ont servi de grille de lecture pour mieux évaluer les effets des activités humaines sur notre environnement. Qualifié de véritables « hygromètre » de la qualité de l'air par Nylander, l'un des pères de la lichénologie, la compréhension des modifications des cortèges s'est affinée tout au long du XX^{ème} siècle.

2. Origine du concept de lichen

La première mention du terme lichen apparaît au IV^{ème} siècle avant JC chez Théophraste (un disciple d'Aristote), il désigne alors des hépatiques.

Cette tradition de ranger les lichens au sein du règne végétal et de les fondre avec le groupe des mousses a continué jusqu'à ce que Tournefort en 1694 ne les distingue de ces dernières dans un genre « *lichen* » à part entière (7). Malgré cette avancée, Linné et ses disciples ont replacé les lichens parmi les algues.

C'est avec Acharius (travaux de 1789 à 1814) qu'est née la Lichénologie systématique. Armé de sa seule loupe, il proposera une classification des lichens en fonction de leur morphologie de thalles et des structures qu'il porte.



Figure 1 Erik Acharius 1757 - 1819

Au sein de la classification en deux règnes encore très présente jusqu'à l'année 1970, les lichens occupent alors une place bien à eux. Toujours inféodés au règne végétal, ils sont rangés dans les cryptogames thallophytes, et y sont distingués des algues, champignons et bactéries.

Règne animal	Vertébrés	Mammifères	
		Oiseaux	
		Reptiles	
		Batraciens	
		Poissons	
	Invertébrés	Insectes Vers etc. Protozoaires	
Règne végétal	Phanérogames	Angiospermes (plantes supérieures)	
		Gymnospermes (conifères, cycas, ginkgo)	
		Ptéridophytes (fougères, lycopodes, prêles, Bryophytes (hépatiques, sphaignes, mousses)	
	Cryptogames	Thallophytes	Algues
			Champignons
			Lichens*
		Bactéries	

(8)

Figure 2 classification en deux règnes du vivant

Le botaniste allemand Karl Friedrich Wilhelm WALLROTH (1792 – 1857) semble être le premier à avoir envisagé la double nature des lichens dans « Naturgeschichte der Flechten » en 1825. Idée reprise par le botaniste allemand Julius Von SACHS (1832 - 1897) qui émet en 1855 l'hypothèse de la double nature des lichens (algue et champignon).

Ce n'est qu'en 1867 que le botaniste suisse Schwendener (9) affirma la nature symbiotique des lichens. Ils sont, selon lui un assemblage hétérogène d'un partenaire algal et d'un champignon. Elle sera démontrée par le français Bonnet (10) qui réussira à faire germer des spores de champignon lichénisé en présence d'algues.

Cette affirmation a été battue en brèche par Nylander et ses disciples



Figure 3 william nylander 1822 1899

La confirmation de cette théorie sera apportée par les botanistes russes Andreï-Sergueïevitch FAMINTSYNE (1835 - 1921) et Jôsep-Wasilijewitsch BARANIECKI (1843 - 1905) qui réussirent à isoler l'algue et le champignon d'un lichen(2). Elle sera officiellement admise et reconnue par le Congrès International de Botanique de 1874 à Florence.

Enfin Gaston Bonnier (1843-1922) tenta la synthèse d'un lichen (*Xanthoria Parietina*) à partir des éléments séparés. Son expérience a été controversée, notamment à cause de problème de stérilité dans son essai.

Dans le traité de Lichénologie de 1951, Henry Des Abbayes (1898 1974) écrit que « la synthèse expérimentale aseptique n'a pas encore réussi à produire un lichen semblable, pour la forme, la taille et la fertilité à ceux qui se réalisent dans des conditions naturelles »



Figure 4 henry des abbayes 1898 – 1974



Figure 5 Andrei Sergueïevitch Famintsyne 1835 - 1918

Avec l'émergence de la notion de pro et eucaryote (de Chatton 1920 à Stanier 1960) les biologistes vont répartir les eucaryotes pluricellulaires dans 3 règnes différents (animaux, végétaux et champignons) selon leur modalité de nutrition et de production de l'énergie.

pas de noyau	chromosomes enfermés dans un noyau (Eucaryotes)			
chromosomes en vrac dans le cytoplasme	- unicellulaires - parfois pluricellulaires - sans différenciation cellulaire	presque toujours pluricellulaires (avec différenciation cellulaire)		
		autotrophes	hétérotrophes	
		photosynthèse	ingestion	absorption
PROCARYOTES	PROTISTES	VÉGÉTAUX	ANIMAUX	CHAMPIGNONS

Figure 6 vue d'ensemble simplifiée des 5 règnes

(8) Un lichen est donc constitué d'un ensemble de partenaires appartenant à 3 règnes différents, le champignon, le végétal et/ou le procaryote.

3. La symbiose, clef du pouvoir d'adaptation.

« Un lichen est une association stable indépendante entre un mycosymbiote et un photosymbiote dans laquelle le mycosymbiote est le partenaire englobant l'autre, dans une structure originale, le thalle lichénique. » (2)

Le terme de symbiose est emprunté au grec « sunbiosis » qui signifie vie ensemble. C'est le botaniste Bary (1879) qui utilise ce terme pour caractériser l'association d'une algue et d'un champignon au sein d'un lichen. (11)

Loin d'une vie « côte à côte » un lichen implique des adaptations profondes des structures et mode de vie des deux partenaires.

Ce sont ces différents partenaires de cette symbiose, leurs adaptations l'un à l'autre et les bénéfiques d'un tel mode de vie que nous proposons de développer au sein de ce chapitre.

La « maison lichen » définition et rôle des partenaires

4. Le Mycosymbiote

Quels champignons ?

Représentant près d'un cinquième des champignons connus, le partenaire fongique de l'association lichénique, ou Mycosymbiote, est le plus souvent un ascomycète (Ascomycota) qui forme ses spores au sein d'asques (structures internes). Près de 40% des ascomycètes ont adopté le mode de vie lichénisé. (12)

La lichénisation des basidiomycètes est rare, (le genre *lichénomphalia* est le plus connu) et forment les petits champignons à lames identiques à leurs parents non lichénisés.



Figure 7 *Lichenomphalia umbellifera*

5. Hétérotropie et relation avec le photosymbiote

Par définition, le Mycosymbiote est hétérotrophe. Il a besoin, pour survivre, des hydrates de carbones fournis par le Photosymbiote et ne peut se passer de ces apports en nutriments organiques.

Bornet (1873), Tschermak (1941) et Plesl (1963)(13) ont caractérisé la relation le Mycosymbiote et le photosymbiote. C'est via un terme utilisé en phytopathologie, l'haustorium (ou suçoir), qu'ils vont caractériser la relation morphologique entre les deux partenaires.

Les travaux de Honegger (14) ont définis les différents types d'haustoria.

Soit le champignon va rester simplement en contact avec son photosymbiote, soit la pénétration de l'hyphe sera plus profonde dans ce dernier. (On parle alors de pénétration de type intra gélatineux chez les lichens à cyanobactéries, de type interpariétal ou plus rarement intracellulaire.

Dans ce dernier cas, seule la paroi est traversée, la membrane plasmique du photosymbionte va l'entourée alors comme « un gant »)

Chez l'haustoria intra pariétal, c'est toute la cellule algale qui va être entourée.

Ainsi le champignon maintient un contact étroit avec son partenaire.

En échange, le champignon fourni protection contre les UV, de l'eau, des sels minéraux et des vitamines (C notamment).

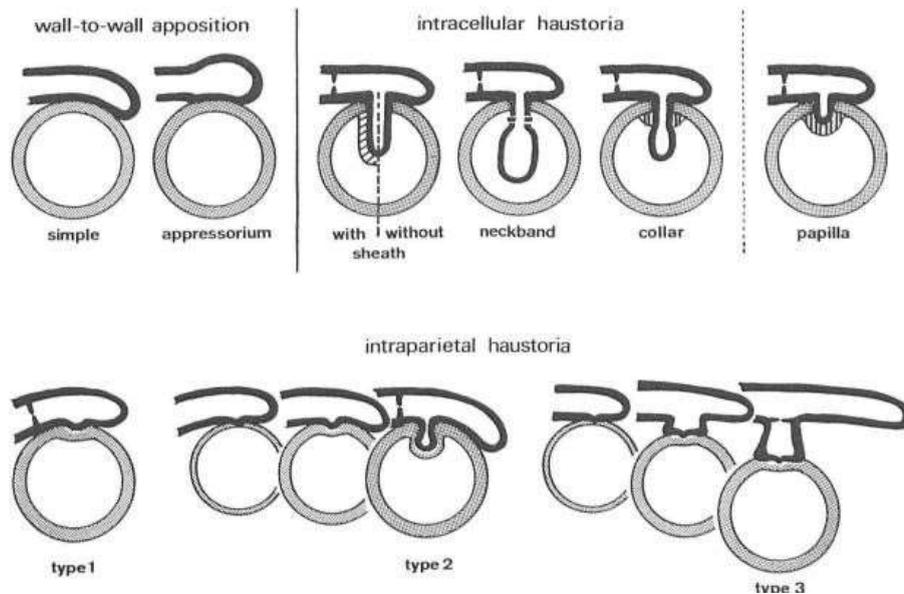


Figure 8 différents types d'haustoria, simple contact, intra cellulaire et interpariétal

6. Reproduction sexuée

On retrouve deux modes de reproduction chez les lichens, la reproduction végétative et la reproduction sexuée.

Chez les lichens, c'est le mycosymbiote qui assure seul ce dernier mode de reproduction.

Les ascomycètes se reproduisent de manière sexuée au moyen de spores contenues au sein d'asques (8).

Chez les basidiomycètes, on parlera de basides structures de reproductions externes.

Chez les ascomycètes on retrouve ces organes reproducteurs sous formes de petits disques (apothécies) ou d'ouïes enfoncées dans leurs thalles (périthèces)

Les spores projetées par le champignon vont ensuite trouver un substrat auquel se déposer. En germant, elles émettent un filament mycélien. Au contact d'une algue qui leur convient, ce dernier se ramifie et vont construire un thalle jeune. (15)

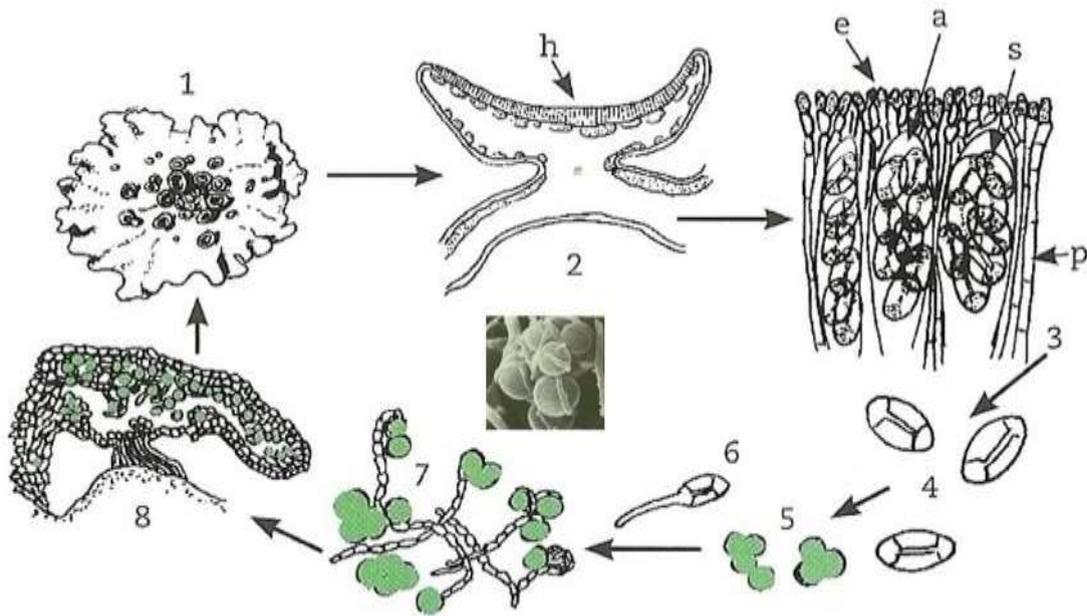


Figure 9 Exemple du cycle de développement de *Xanthoria parietina*. 1 : thalle adulte avec apothécies ; 2 : coupe verticale d'une apothécie, montrant l'hyménium (h) ; 3 : détail de l'hyménium en coupe (e : épithécium ; p : paraphyses ; s : spores ; a : asque) ; 4(15)

7. Le photosymbiote (activité photosynthétique continue)

Nature du photosymbiote

Dans 90% des lichens, on retrouve des algues vertes (Chlorophycées) avec le genre unicellulaire *Trebouxia* et le genre filamenteux *trentepolia*. Dans 10% des cas, on retrouve des cyanobactéries, le plus couramment le genre *nostoc* (1)

Les photosymbiote lichénisés sont souvent modifiés à un tel niveau (les enveloppes gélatineuses disparaissent ; la forme du plaste se complique, les réserves font souvent défaut, les organes de reproduction sont souvent incomplets...)(16) qu'il faut les étudier en culture pour pouvoir les identifier correctement. (11)

Dans la pratique, on ne connaît avec certitude l'espèce du photosymbiote que dans 2% des cas (11)

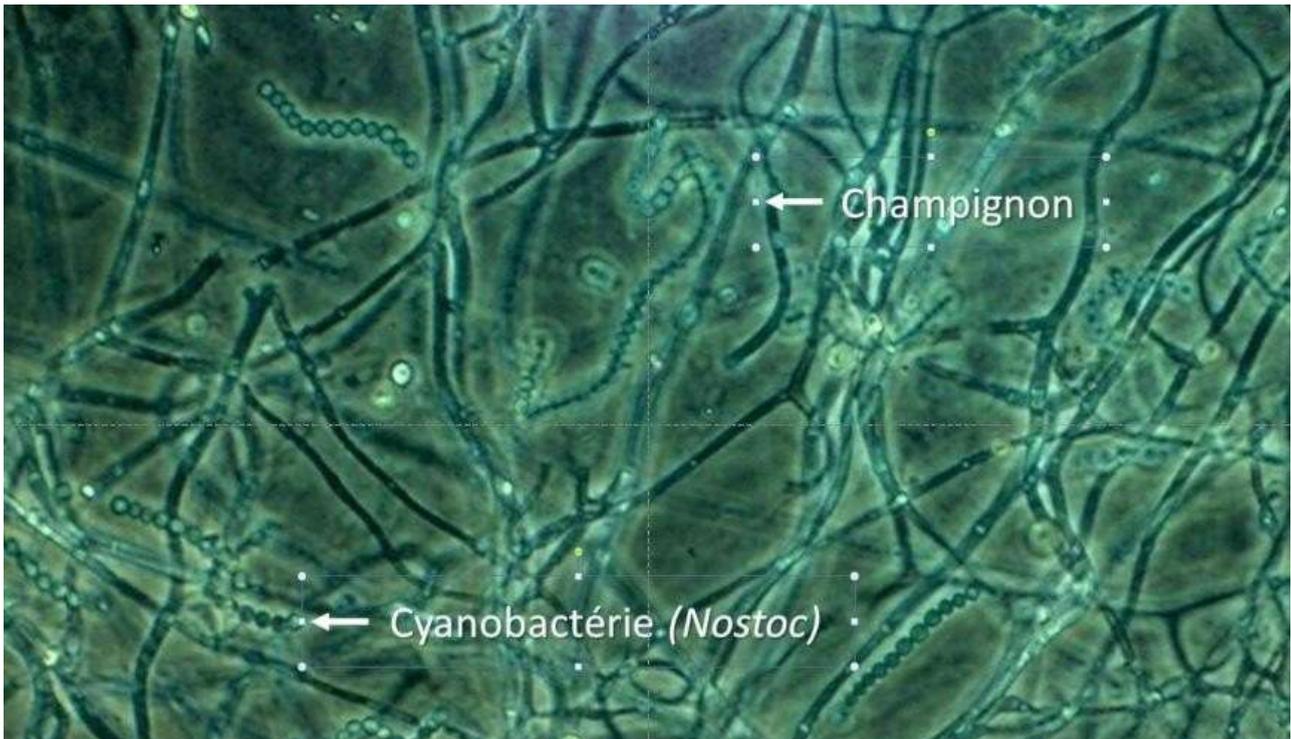


Figure 10 Structure homéomère d'Enchylium tenax à thalle gélatineux [Source : document © J. ASTA] (11)

8. Apports de nutrition

La nature des hydrates de carbone fournis au mycosymbiote par le photosymbiote varie en fonction de la nature de ce dernier (11). Il s'agit du glucose si l'associé est une cyanobactérie, de ribitol, d'érythritol ou de sorbitol s'il est algal. Ils sont ensuite transformés par le champignon en mannitol.

Non seulement ces sucres apportent la nourriture nécessaire aux partenaires, mais assurent une pression osmotique élevée au sein du lichen, jouant un rôle protecteur lors des périodes de dessiccation. (12)

La vitamine B est également un produit indispensable produit par le photosymbiote pour le mycosymbiote.

Dans le cas des cyanobactéries, elles sont également capables de fournir au mycosymbiote de l'azote sous forme de d'ammonium

Toutefois, il est à noter que lorsque l'algue ou la cyanobactérie échappe à la symbiose la production d'hydrates de carbones via son activité photosynthétique est beaucoup plus importante et de nature différente. Le champignon altère quantitativement et qualitativement l'activité photosynthétique du photosymbiote. (17)

9. La reproduction végétative

L'analogie avec le bouturage permet de visualiser le principe de la reproduction végétative.

Au sein du lichen, des fragments d'algues et de filaments mycéliens se détachent et permettent à l'espèce de se disséminer.

On parle alors de sorédies si le cortex du lichen ne les entoure pas, et d'isidies si ce dernier les protège (dans ce cas la structure du thalle est préservée). Le vent ou les insectes assurent le transport des boutures

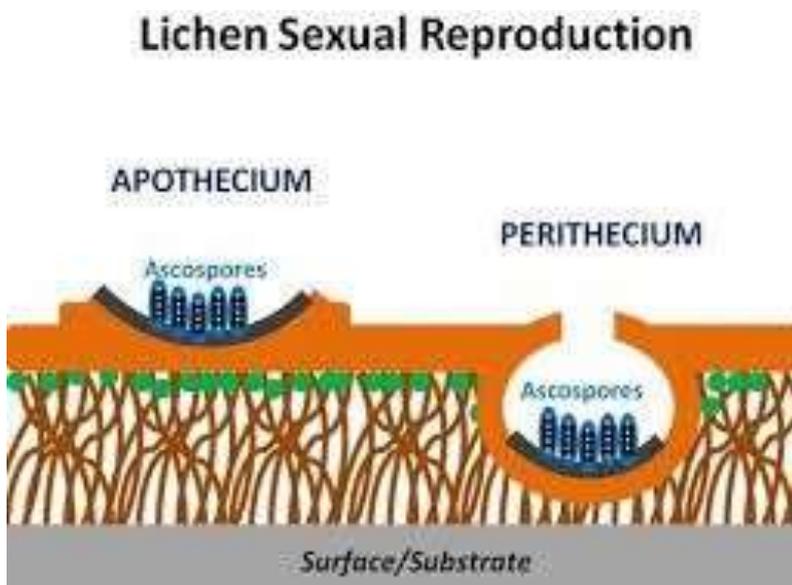


Figure 11 reproduction végétative chez le lichen

10. La symbiose

En conclusion, le concept de symbiose appliqué aux lichens peut se lire suivant différents éclairages.

Les échanges physiologiques sont importants, équilibrés et durables, la spéciation elle aussi est durable (c'est-à-dire que le caractère interfécond d'un groupe d'individus entre eux et infécond avec les autres individus issus d'un ancêtre commun se conserve et forme des espèces distinctes de l'espèce d'origine), la symbiose est également à l'origine de nouvelles caractéristiques, originales pour ses deux membres, comme l'extraordinaire longévité de certaines espèces ((*Rhizocarpon Geographicum* peut vivre jusqu'à 4500 ans dans des zones froides et arides (18)). Cependant, on peut considérer que le champignon développe des structures apparentées au

parasitisme (suçoirs) dans les cellules algales, que l'algue a perdu sa capacité à se reproduire seule par voie sexuée et qu'elle voit son métabolisme altéré.

Boullard (1990)(18) situe la symbiose entre les deux cas extrêmes de la maladie vaincue et de la maladie mortelle, où l'équilibre des forces en présence donne l'apparence d'une union sans histoire, alors qu'elle n'est qu'une vie en commun prolongée à la faveur d'une tolérance réciproque. Cette prolongation de la vie en commun se réalise grâce aux apports mutuels des individus l'un envers l'autre.

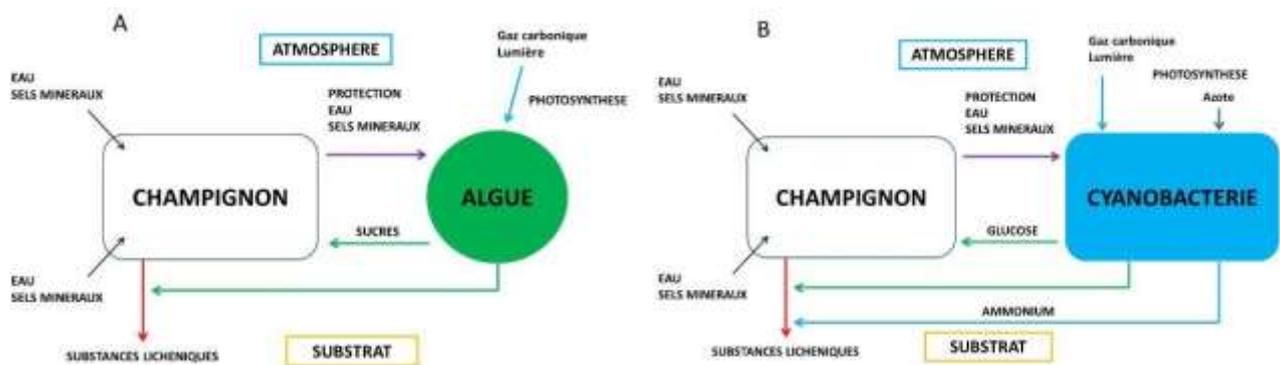


Figure 12 Échanges trophiques au sein d'un lichen entre champignon et algue (A) et entre champignon et cyanobactérie (B), à l'interface entre substrat et atmosphère.

Prendre la symbiose simplement pour une tolérance réciproque, une maladie vaincue ou mortelle, a du sens d'un point de vue de la structure du lichen. Toutefois, en considérant l'organisme dans sa globalité et les nouvelles facultés qu'il acquiert via ce mode de vie, on peut définir quelques points pour lesquels cette stratégie apporte des avantages en termes de conquête de nouveaux milieux, de survie aux aléas biologiques et climatiques, et de résilience face aux périodes moins propices à son développement.

Les acides lichéniques : plus de 700 substances lichéniques ont été découvertes(11) ils sont synthétisés par le champignon, mais exclusivement en présence de l'algue (19). Ils appartiennent à des familles chimiques différentes et ont plusieurs fonctions essentielles dans la vie du lichen :

De nombreuses molécules lichéniques assurent une protection contre les rayonnements UV (20). C'est le cas de l'essentiel des séries de molécules lichéniques retrouvées dans les chlorolichens : depsides, depsidones, dibenzofuranes et dérivés de l'acide usnique, diphenyléthers, xanthones, quinones, dérivés de l'acide pulvinique

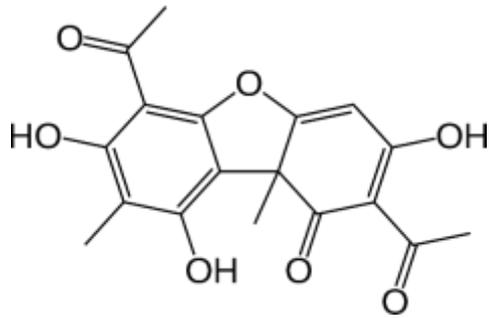


Figure 13 structure de l'acide usnique (21)

D'autres composés ont une activité liée à la résistance aux métaux lourds auxquels sont exposés les lichens, le profil chimique de *Hypogymnia Physodes* par exemple, est perturbé lorsqu'il est transplanté dans un milieu riche en métaux lourds. L'action de l'acide physoladique a été mis en évidence dans la gestion de ce stress environnemental (22)

Il existe également des acides lichéniques qui jouent un rôle d'arme contre les autres organismes avec lesquels les lichens sont en compétition. Nombre de molécules lichéniques s'avèrent ainsi toxiques à l'égard d'autres espèces de lichens, de mousses mais également de plantes vasculaires (acides usnique, évernique, squamatique, vulpinique, extraits acétoniques de *Cladonia stellaris* et de *C. rangiferina*, fractions phénoliques de *Lethariella canariensis*) (19)

Enfin, différents métabolites lichéniques ont une action répulsive vis-à-vis d'herbivores. Ainsi, l'accumulation de méta-scrobiculine au sein des structures reproductrices de *Lobaria scrobiculata* permet d'éviter l'attaque de ces organes par les escargots herbivores (23).

Au niveau ultra structural, des particularités liées à la symbiose apparaissent également. Par exemple, on note la présence de pyrénoglobules, des structures lipidiques spécifiques des algues symbiotiques impliquées dans la fonction respiratoire lors de stress hydriques (11)

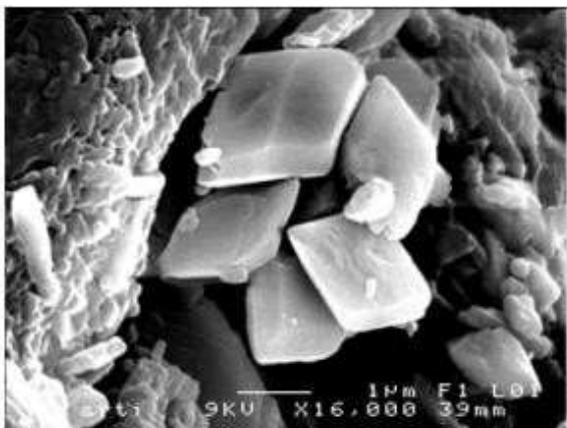


Figure 14 cristallisation dans la zone corticale d'*Usnea articulata*

11. Présences sur tous les substrats : Adaptation à tous les milieux

Un des atouts majeurs des lichens, via le mécanisme de symbiose est de pouvoir s'adapter à de multiples supports, en voici quelques exemples.

- Les lichens se développant sur les écorces (lichens Corticoles)

Les troncs d'arbres sont généralement un bon support pour les lichens. Sous une apparente homogénéité, se cache une grande diversité des facteurs déterminants pour l'installation des lichens. Parmi ceux-ci, la rugosité de l'écorce, mais aussi sa nature chimique et sa capacité à retenir de l'eau. Enfin, on notera tout particulièrement l'influence du pH des écorces sur le développement des lichens

La disposition relative de l'arbre est également importante.

Tableau 1 types d'écorces et population lichénique(11)

Paramètres micro-stationnels	Observation	Exemples
écorce lisses	Plutôt favorable aux lichens crustacés	<i>Graphis sp., Pertusaria pertusa</i>
Écorces rugueuses, plateau de l'écorce	Plutôt favorable aux lichens foliacés	<i>Flavio Parmelia caperata</i>
Raintrack (zone d'écoulement des eaux de pluie)	Favorable aux hygrophiles et aux nitrophiles	<i>Phycia sp.</i>

- Les lichens se développant sur un substrat rocheux (lichens saxicoles)

On peut retrouver les lichens sur roches. Ils sont soit calcicoles (cas des roches calcaires) soit silicicoles (cas des roches siliceuse : granit, gré, basalte, ...), ou indifférents.

12. Types et structures des Thales.

D'un point de vue morphologique on peut distinguer plusieurs grands ensembles de lichens, Les lichens fruticuleux, foliacés, squameux, crustacés, lépreux ou composites. (24)

Les thalles crustacés

« Le thalle pénètre si profondément dans le substrat (terre, écorce ou roche) qu'on ne peut le détacher sans prélever le substrat lui-même (*Lecanora*, *Lecidella*, etc.) 90% des lichens sont crustacés. »(1) ils sont extrêmement variés, on peut en distinguer deux grands types, ceux qui sont lobés à leurs extrémités comme chez les *lecanora*, leur structure rappellent alors les structures foliacées, mais fermement plaquées sur le substrat, et sans cortex inférieur et sans rhizines. L'autre grand type de thalles crustacés regroupe tous ceux qui sont incorporés directement dans le substrat, comme le *Graphis scripta*, ou qui se développent entièrement à la surface de ce dernier



Figure 15 lichen crustacé *Xanthoria elegans* (25)

Les thalles foliacés

« L'appareil végétatif présente une forme de lame ou de « feuille » plus ou moins lobée, et se détache généralement facilement du substrat Cette structure se fixe généralement par de nombreux crampons appelés rhizines (*Xanthoria*, *Parmelia*, *Physcia* etc.) »(1) On distingue un cortex supérieur, une couche interne et un cortex inférieur, bien que pouvant manquer parfois.



Figure 16 lichen foliacé *xanthoria parietina* (26)

Les thalles fruticuleux

« La surface de contact avec le substrat est très réduite. Ils sont plus ou moins ramifiés, dressés, ou pendant (*Usnea, Bryoria, Ramalina etc.*) »(1) il peuvent également avoir la forme de lanières en général abondamment ramifiées (24).

Ils peuvent parfois présenter une structure radiée comme chez les *Ramalina* ou des structures stratifiées comme chez *Evernia prunastri*.



Figure 17 lichen fruticuleux *Ramalina farinacea* (27)

La surface d'accroche se réduit en une petite surface, c'est la forme ombiliquée.

Les thalles lépreux

« A l'œil nu, ces thalles ressemblent à des de la poudre qui se détache facilement du substrat (*Lepraria chrysothrix*) ». (1) Un lichen lépreux est constitué d'une association plus ou moins cohérente de granules, contenant des hyphes de champignon mêlé à des cellules algales.



Figure 18 lichen lépreux *Chrysothrix candelaris* (28)

Les thalles composites

Ce sont des lichens dont les thalles associent plusieurs thalles différents. Un exemple caractéristique de cette organisation se retrouve chez les cladonias dont le thalle à chlorococcales est formé d'un thalle primaire avec des squamules petites et d'un thalle secondaire constitué de podétions (structure dressée chez les cladonia qui porte les fructifications) de formes diverses et plus développées que le thalle primaire(1)



Figure 19 *cladonia portentosa* (29)

13. Le structure interne des thalles.

Homogénéité et hétérogénéités des structures.

- Structure homéomère

Dans ces structures, le mycosymbiote et le photosymbiote sont répartis uniformément au sein du thalle. Ces structures absorbent plus d'eau que les autres. De ce fait, la diffusion du CO₂ au sein du thalle est limitée ou bloquée dans un thalle saturé en eau. Ainsi, le CO₂ peut devenir un facteur limitant la photosynthèse dans un environnement sur saturé en eau. (12)

- Structure hétéromère stratifiée.

C'est cette structure qui s'observe chez la grande majorité des lichens. Les différentes couches qu'on retrouve au sein de ces thalles sont, un cortex supérieur, la couche algale, la médulle et un cortex inférieur. (12)

Le cortex supérieur correspond aux hyphes resserrés du cortex. (11)

La couche du photosymbiote (algues) autour desquelles les hyphes du mycosymbiote sont présentes de manière plus lâche.

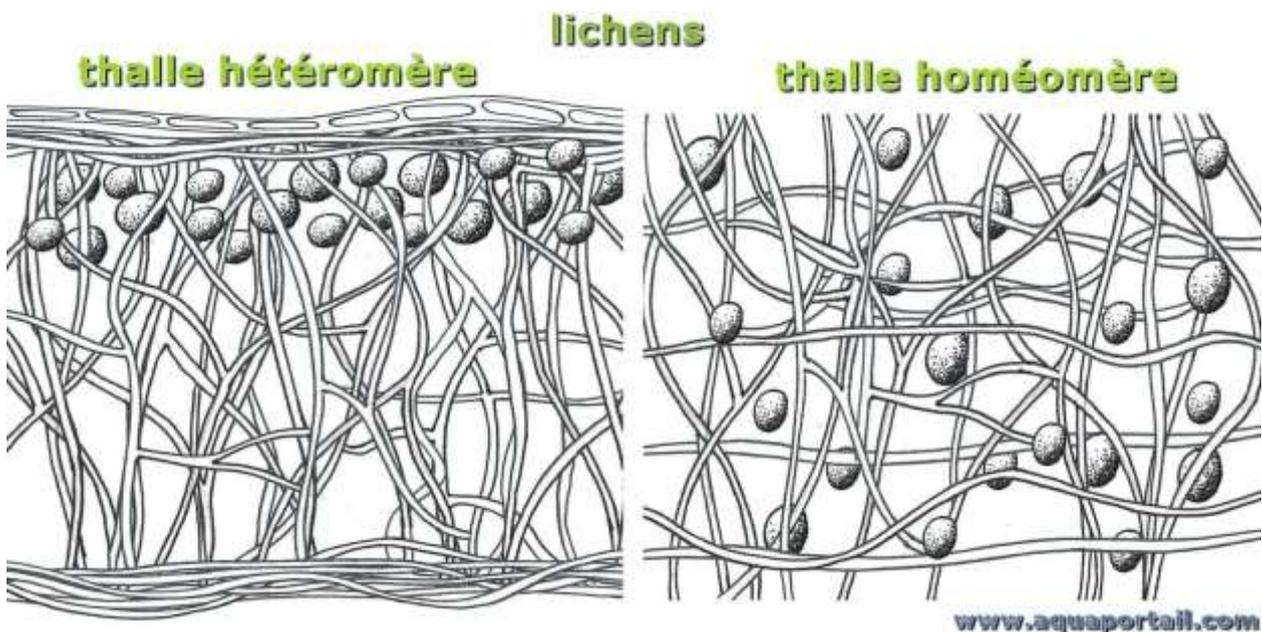


Figure 20 thalles hétéromères et homéomères

La médulle est constituée quant à elle des hyphes du mycosymbiote réparties également de manière lâche.

Enfin dans le cortex inférieur on retrouve des cellules jointives entre elles d'où s'échappent des rhizines qui servent à la fixation. (1)

- Structure hétéromère radiée (usnée)

Dans ces thalles, on retrouve non plus une symétrie dans le plan, mais une symétrie le long d'un axe. On a, de la périphérie jusqu'au centre, une structure suivant la même organisation. Cependant, on ne retrouve pas d'équivalent du cortex inférieur. A la place de ce dernier, le centre du cylindre est occupé par un cordon axial. (1)

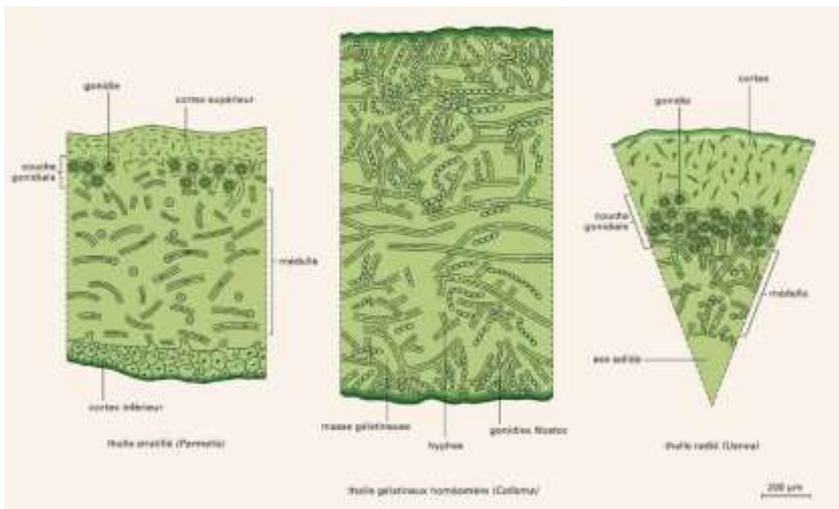


Figure 21 différents types d'organisation des structures des lichens

14. Mécanisme d'accumulation des polluants dans les thalles

Les structures anatomiques des lichens jouent un rôle important dans la variation d'accumulation de polluants au sein des thalles.

Chez les lichens corticoles soumis à une même pollution, l'accumulation du fluor apparaît plus élevée chez les Parméliacées que chez les Usnéacées. Le type morphologique du thalle différent, la surface d'exposition plus importante chez les thalles aplatis des Parmelia semblant à l'origine de cette accumulation. La structure anatomique radiée des Usnéacées est moins propice à l'accumulation du fluor que la structure stratifiée des Parmelia. (30,31)

15. Effets des principaux polluants sur les lichens

Méthodes d'études

Les lichens dépendent de l'atmosphère pour se nourrir, dépourvu d'organe actif pour réguler leur interaction avec l'air ambiant (à la différence des stomates des végétaux supérieurs) les lichens accumulent au sein de leurs thalles des polluants. Ces polluants rentrent dans les tissus pour y produire différents effets sur l'intégrité de ces structures.

Un exemple illustre macroscopiquement cet effet : la chlorose des lichens exposés au fluor. C'est-à-dire la décoloration et la nécrose des thalles lichéniques exposés à ce polluant(7). Chez le *Xanthoria parietina* le changement de couleur chez ces espèces (passant du jaune au gris rosé) laisse penser qu'il s'accompagne d'une destruction des acides lichéniques ou d'une perturbation du métabolisme, l'observation microscopique montre également une plasmolyse des tissus algal qui perdent leur caractère chlorophyllien et leur coloration verte.

L'effet de la pollution sur la biologie des lichens est visible sur plusieurs aspects. Pour mesurer ces effets, différentes méthodes ont été utilisées.

Tout d'abord la méthode des transplants. Des espèces sont récoltées dans des zones moins polluées et transplantées dans des zones très polluées pendant une période donnée. Cette méthode doit être très standardisée et est délicate dans le sens où les lichens sont alors soumis à toute une série de nouveaux facteurs qui peuvent influencer sur leur biologie, autre que la pollution (ouverture du milieu, luminosité...). Il est également essentiel de faire des transplants dans des zones non polluées pour former un point de contrôle.

Une autre méthode est également utilisée pour mesurer l'effet des polluants sur les lichens, c'est la méthode de la fumigation contrôlée en laboratoire. On peut alors contrôler de manière très fine le microenvironnement dans lequel se développe le lichen pendant son exposition. Cependant, il est difficile d'appliquer cette méthode sur le long terme à des taux faibles de pollution comme le serait le lichen dans son milieu naturel. De plus, la fumigation permet d'identifier l'effet de quelques éléments ciblés, mais pas d'un « cocktail » de polluant à faible dose.

Les deux méthodes sont donc complémentaires pour étudier ces effets.

Effets sur la reproduction.

La réduction de la reproduction est un effet qui va apparaître avant d'autres blessures sur le thalle. La réduction du nombre d'apothécies est démontrée dans les zones polluées (32).

On constate également une réduction de la maturation des spores des lichens à ascocarpes dans les zones urbaines et industrielles, ainsi qu'une diminution du taux de reproduction asexuelle des cellules du protobionte.

A l'inverse, le SO₂ stimule quant à lui la reproduction asexuée des lichens via la stimulation de la production d'Isidies et de sorédies(33). Dans cette étude sur les effets de la pollution sur les lichens du centre-ville de Montréal, les auteurs que

Certaines espèces de lichens comme *Physcia millegrana*, *Physcia orbicularis* ou *Candelaria concolor*, avaient leurs thalles réduits en taille, mais également recouverts de larges zones de sorédies au point qu'ils étaient transformés en « masse pulvérulente de sorédies poudreuses » (33)

Effet sur La croissance

Les variations de la croissance des lichens dans les zones polluées peuvent être mesurées de différentes manières, mais a surtout été étudiées pour les lichens à croissance rapide, dû au fait que les lichens sont des organismes à croissance beaucoup plus lente que les plantes supérieures. Soit par photographie précises et répétées dans des zones polluées comparées à des zones plus saines, soit par comparaison à un instant T des thalles dans une zone non polluée à une zone polluée, et enfin par fumigation en laboratoire.

Ces différentes approches donnent des résultats comparables. Les lichens poléosensibles voient la taille de leurs thalles diminuer au contact d'une atmosphère polluée.

De plus, l'étude en laboratoire sur des thalles juvéniles montrent que l'attachement des spores dans les premiers mois de la vie du lichen n'est pas affecté,(34) mais que c'est la production du micro-environnement humide autour de ces spores qui est considérablement réduite. (12)

Morphologie

Les modifications de morphologies des lichens sont notés dans de nombreuses études de terrain (12). On peut noter des modifications de couleur, (rosissement, blanchissement) visible ou sous filtres infrarouges (35)

La comparaison avec des pièces d'herbier plus ancienne est intéressante, *Hypogymnia enteromorpha* montre des évolutions de sa morphologie (circonvolution) plus importante dans les échantillons récoltés en 1983 que dans les pièces historiques (36)

D'autres types de modifications dues à la pollutions ont été rapportés et documentés, comme des excroissances chez des espèces de *cladonia* (37) notamment dues à la présence de pluies acides et à une plus forte concentration en ozone (cf. infra)

A l'inverse, en antarctique les pluies alcalines rendent le cortex des *Usnea sphecalata* crevassés (38)

Ultrastructure et intégrité des membranes

Concernant l'ultrastructure même des cellules qui composent les lichens soumis à la pollution, plusieurs perturbations peuvent se rencontrer.

Chez le photobionte, on constate un gonflement des mitochondries, l'accumulation de vacuoles intracytoplasmiques, la diminution globale de la densité du cytoplasme... chez le mycobionte, on retrouve sensiblement les mêmes effets avec une diminution de la taille des vacuoles de stockage intracytoplasmique, et l'augmentation du nombre de vacuoles électro opaques. (39)

Les membranes voient également leur intégrité perturbée et les échanges d'ions vitaux aux cellules grandement compromis.

Photosynthèse et respiration

la photosynthèse est un processus par lequel le photobionte produit des hydrates de carbones à partir de carbone inorganique, de lumière et d'eau. Ce processus est mesurable en laboratoire, notamment en utilisant le carbone C^{14} . la respiration est à l'inverse le processus de relargage de carbone inorganique issus des différentes voies métaboliques du lichen.

Certaines espèces voient leur voie photosynthétique stimulée par une concentration faible en dioxyde de soufre et certains métaux, mais elle diminue lorsque ces concentrations atteignent un certain seuil. De même pour la respiration.

Ce phénomène peut s'expliquer par plusieurs facteurs, mais principalement par un changement progressif du Ph du thalles, dans lequel le dioxyde de soufre va progressivement réagir en H_2SO_3 puis en HSO_3^- qui est un puissant oxydant de la chlorophylle A

16. Toxicité des lichens, usage médical industriel et alimentaire

Les lichens produisent des substances spécifiques (souvent appelées acides lichéniques) synthétisées par le mycosymbiote en présence exclusivement du photosymbiote. Actuellement plus de 700 ont été décrits, certains présentant des propriétés particulières (antibiotiques, maintien de l'équilibre hydrique, protection contre les métaux lourds, ...) et permettant des applications diverses. Certaines de ces substances peuvent d'ailleurs être très toxiques ; c'est le cas par exemple de l'acide vulpinique produit par *Letharia vulpina*. Ce lichen a été utilisé autrefois pour empoisonner les appâts (auxquels on le mêlait) destinés aux loups et renards (d'où le nom de l'espèce, en latin, vulpes désigne le renard) ; l'acide vulpinique provoque des troubles respiratoires entraînant la mort.

La théorie des signatures a prêté au *Lobaria pulmonaria* des propriétés médicales, notamment sur les voies respiratoires. La science a documenté ses effets, ainsi que sur la protection de l'estomac lors d'ulcères (40)

De manière plus exotique, les lichens poussant sur les crânes des pendus étaient utilisés pour soigner l'épilepsie (décrit par Jacob Theodore Muller au XVIème siècle)(41)

enfin la « mousse d'Islande » utilisée comme antiémétique, tonique, stimulant et anti-catarrhal a des propriétés reconnues.



Figure 22 *Lobaria pulmonaria*

D'un point de vue alimentaire, les *Cladonia stellaris* d'hiver sont utilisés parfois en Laponie pour les alimenter les troupeaux de cervidés.

Les insectes se nourrissent également de lichens, comme la chenille de la Nole-capuchon qui mange de *Evernia prunastri*

Dans l'industrie enfin, les lichens étaient utilisés pour teinter les laines des tartans écossais. (notamment le *Rocella fuciformis*). En parfumerie, les « cuirs de Russie » « chypre » sont des parfums créés à partir de *Pseudevernia furfuracea*. Mais leur usage est interdit, soupçonnés de développer des substances allergisantes. (42)



Figure 23 *Pseudevernia furfuracea*

On utilise aussi les lichens en datation, la lichénométrie. Qui permet, après calibrage des courbes de croissance des lichens, Cette méthode s'applique généralement pour une datation de 500 ans ou moins, mais l'espèce *Rhizocarpon geographicum* permet de dater des roches, dans des zones extrêmement froides et arides, qui peuvent atteindre 4 500 ans.(43)

La lichénométrie permet de dater les systèmes d'anciennes moraines, et donc de reconstituer l'extension maximale des glaciers et la climatologie de haute montagne. Elle est également un moyen d'évaluer la dynamique littorale (datation des cordons littoraux rocheux), la dynamique récente et passée d'une rivière (marqueurs de crue, les lichens recolonisent rapidement les blocs de pierre mis à nu ; datation des terrasses alluviales) (44)

L'étude lichénométrie s'applique également aux mégalithes, la cartographie des lichens donnant une indication sur les pierres qui ont subi un basculement, un redressement ou une mise en place récente.

III. Utilisation des lichens dans l'évaluation de la qualité de l'air (1)

Les lichens ont servi depuis le début du siècle dernier à quantifier un phénomène de plus en plus visible, la pollution de l'air des villes.

Organismes d'abord présents dans les centres urbains, l'altération des cortèges a marqué les biologistes qui ont cherché la relation qui existait entre ce départ et les fumées des usines périphériques.

De Nylander aux normes internationales, voici un tour d'horizon des différentes utilisations des lichens comme bio indicateurs de la pollution de l'air.

1. Les Méthodes d'évaluation qualitatives

La Méthode Hawksworth et Rose (45)

Cette méthode d'évaluation de la qualité de l'air a été développée dans les années 1970, dans une Angleterre où l'industrie lourde avait encore une place prédominante dans le tissu économique. Elle s'appuie sur 80 espèces de lichens, classés en 11 niveaux de poléotolérance ou poléophilie. Le contexte de l'époque, marqué par l'utilisation massive du charbon, fait que cette méthode est essentiellement tournée vers l'évaluation des taux de dioxyde de soufre dégagés par l'utilisation d'un tel combustible. Le SO₂ était alors le traceur de pollution atmosphérique de référence.

Facilement transposable au contexte français de l'époque, cette méthode a peu à peu perdu de son utilité, en effet les différentes politiques de santé publique et l'évolution du mode production énergétique en Europe de l'Ouest ont fait drastiquement chuter les taux de SO₂ atmosphériques.

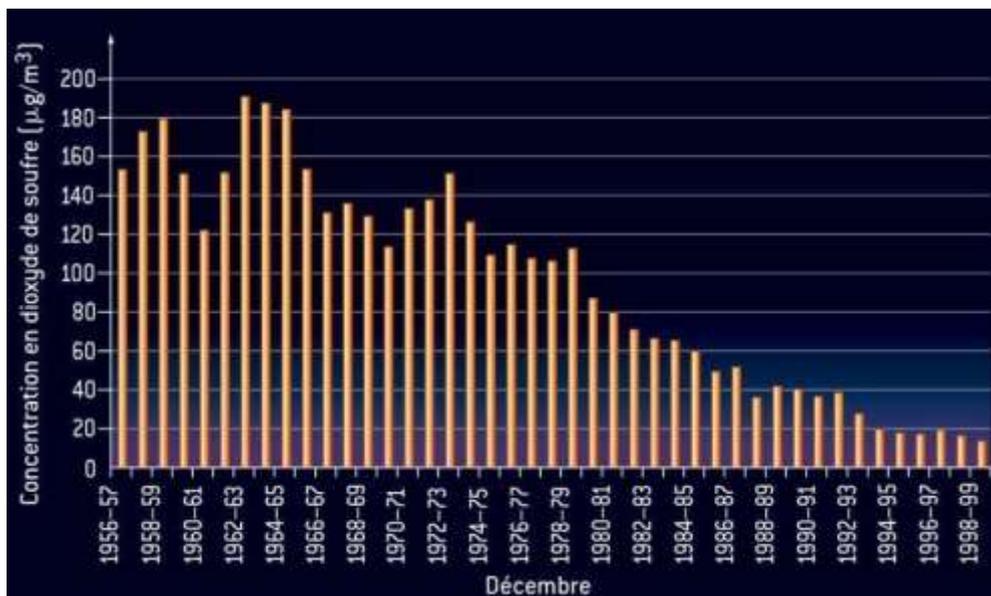


Figure 24 évolution de la concentration en SO₂, Paris, de 1956 à 1998 données AirPARIF (46)

Méthode van Haluwyn et Lerond (47)

La méthode suivante s'appuie sur les communautés de lichens. La présence d'espèces de sensibilité croissante à la pollution permet de classer une zone selon 7 niveaux selon les effets qu'aura la pollution sur ces communautés, d'effet de la pollution extrêmes (A) à très faible (G).

Il faut prendre une station dans laquelle les arbres sont soumis aux mêmes conditions environnementales, même exposition à la lumière, aux vents et aux intempéries. Si cela est possible prendre les arbres appartenant à une même espèce, à défaut choisir des arbres ayant des caractéristiques assez proches.

Ne pas prendre les arbres dont le diamètre est insuffisant (arbres trop jeunes de diamètre inférieur à 20cm)

Les relevés seront effectués sur les 6 arbres possédant les populations lichéniques les plus abondantes

Déterminer sur le tronc une aire de 20-30 cm de largeur x 50-80 cm de hauteur, de façon à faire figurer dans le relevé le maximum d'espèces présentes sur le substrat. Éviter d'inclure dans l'aire minimale, les parties basses du tronc plus ou moins perturbées par des apports extérieurs (déjections canines, pulvérisations chimiques : engrais, désherbants, sel apporté sur les routes lors des périodes de verglas...)

	Pollution	Critères d'identification des principaux lichens utilisés pour la cartographie de la qualité de l'air (méthode Van Haluwyn - Lerond) par Jean-Pierre Gavériaux (2009)
A	extrême	Pas de lichens - <i>Pleurococcus viridis</i> (algue) parfois attaqué par <i>Athelia arachnoidea</i> (champignon)
B	très forte	<i>Amandinea</i> (= <i>Buellia</i>) <i>punctata</i> (c) thalle C-, nombreuses petites apothécies globuleuses noires. <i>Lecanora conizaeoides</i> (c) thalle d'aspect granuleux (sorédié) C-, gris-vert, très petites apothécies lécanorines (0,5-1 mm) dispersées à disque brun jaunâtre clair.
C	forte	<i>Lecanora expallens</i> (c) thalle d'aspect granuleux (sorédié) C+ orange, toujours stérile. <i>Lepraria incana</i> (c) thalle granuleux, gris-vert ± bleuâtre, dans les parties ombragées.

D	assez forte	<p><i>Diploicia canescens</i> (c) thalle en rosette, gris clair nuancé de vert bleuâtre, à lobes marginaux imitant descannelures, partie centrale granuleuse (nombreuses soralies plus claires).</p> <p><i>Lecidella elaeochroma</i> (c) thalle C+ orange, bordé d'une ligne hypothallique noire, nombreuses petites apothécies globuleuses noires.</p> <p><i>Phaeophyscia orbicularis</i> (fo) petites rosettes vertes à lobes rayonnants, à partie centrale sorédiée (soralies gris vert ± sombre), à rhizines débordant le thalle. Occupe souvent des surfaces importantes par coalescence de nombreux petits thalles.</p> <p><i>Physcia tenella</i> (fo) nombreux lobes étroits gris-vert ± bleuâtre, munis de cils marginaux, à extrémités aplaties, élargies, portant des soralies labriformes (en forme de lèvres), thalle K+ (jaune).</p> <p><i>Xanthoria polycarpa</i> (fo) K+ rouge, apothécies abondantes, thalle très réduit.</p>
E	moyenne	<p><i>Candelariella xanthostigma</i> (c) thalle K-, formé de granulations dispersées, jaune ± orangé, stérile.</p> <p><i>Evernia prunastri</i> (fr) ramifications en lanières pendantes, à face sup. verte et face inf. blanche, nombreuses soralies marginales.</p> <p><i>Hypogymnia physodes</i> (fo) lobes creux, de 2-3 mm de large, gris-bleu (± verdâtre) en forme de gouttière retournée, élargis aux extrémités pour donner des soralies labriformes, pas de rhizines sur la face inf.</p> <p><i>Parmelia sulcata</i> (fo) lobes bleu-vert, larges de 5 mm avec un réseau de fissures claires donnant des soralies, médulle et soralies C- (C+ chez <i>P. subrudecta</i>).</p> <p><i>Physcia adscendens</i> (fo) extrémité des lobes élargies et recourbées en forme de capuchon, Thalle K+ (jaune).</p> <p><i>Physconia grisea</i> (fo) lobes gris ± prumineux avec des soralies blanchâtres granuleuses vers la périphérie.</p> <p><i>Pseudevernia furfuracea</i> (fr) lanières à face sup. grise, fortement isidiée et face inf. noirâtre (ou blanchâtre)</p> <p><i>Xanthoria parietina</i> (fo) K+ rouge, thalle développé, apothécies uniquement dans la partie centrale.</p>

F	faible	<p><i>Pleurosticta (= Parmelia) acetabulum</i> (fo) thalle vert bronze devenant vert clair au contact de l'eau.</p> <p><i>Flavoparmelia caperata</i> (fo) lobes jaune verdâtre, larges de 0,5 à 1,3 cm, médulle K+ jaune.</p> <p><i>Melanelixia fuliginosa subsp. glabratula (= Parmelia glabratula)</i> (fo) lobes brunâtres, brillants, ne dépassant pas 3 mm de large, avec de nombreuses isidies vers le centre du thalle.</p> <p><i>Parmelina (= Parmelia) pastillifera</i> (fo) lobes gris bleuâtre couverts d'isidies noires en forme de boutonspédicellés, laissant une cicatrice à la cassure.</p> <p><i>Flavoparmelia (=Parmelia) soledians</i> (fo) lobes vert jaunâtre ne dépassant pas 0,5 cm de large, médulle K+jaune puis rouge.</p> <p><i>Melanelixia (= Melanelia = Parmelia) (gr) subaurifera</i> (fo) lobes brunâtres, mats, isidies donnant des soralies blanchâtres au frottement.</p> <p><i>Punctelia (= Parmelia) subrudecta</i> (fo) lobes bleu-vert, larges de 5 mm avec des soralies blanchesponctiformes (ciel étoilé), médulle et soralies C+ rouge (C- chez <i>P. sulcata</i>)</p> <p><i>Parmelina (= Parmelia) tiliacea</i> (fo) lobes gris bleuâtre, couverts d'isidies brun sombre globuleuses, ne laissant pas une cicatrice à la cassure.</p> <p><i>Pertusaria amara</i> (c) thalle gris clair couvert de soralies blanches hémisphériques 0,5-1,5 mm (goût amer)</p> <p><i>Pertusaria pertusa</i> (c) thalle gris clair couvert de verrues fertiles 0,8-2 mm (aspect de dent cariée à laloupe)</p> <p><i>Phlyctis argena</i> (c) thalle stérile K+ jaune puis rouge, gris blanchâtre un peu luisant avec par endroit des parties' mates couvertes de soralies.</p> <p><i>Ramalina farinacea</i> (fr) thalle en forme des petites touffes pendantes à ± dressées, lobes aplatis très fins,verts sur les 2 faces, avec des soralies marginales.</p> <p><i>Ramalina fastigiata</i> (fr) lobes aplatis, verts sur les 2 faces, toujours dressés, avec des apothécies terminales.</p> <p><i>Xanthoria candelaria</i> (fo) K+ rouge, nombreux lobules minuscules, dressés, serrés les uns contre les autres,aux extrémités très découpées, sinueuses et sorédiées.</p>
---	--------	--

G	<p>très faible</p> <p><i>Anaptychia ciliaris</i> (fr) lobes en lanières, pubescents, ± étalés, munis de cils marginaux brun-noir.</p> <p><i>Parmotrema</i> (= <i>Parmelia</i>) <i>perlata</i> (fo) lobes gris-bleu, ascendants, 1,5 cm de large à l'extrémité, avec dessoralies marginales blanches ± globuleuses.</p> <p><i>Hypotrachyna</i> (= <i>Parmelia</i>) <i>revoluta</i> (fo) lobes gris-bleu, révolutés (retournés vers le substrat).</p> <p><i>Physcia aipolia</i> (fo) lobes étroits, gris, dépourvus de cils marginaux, nombreuses apothécies à disque grisbleuâtre.</p> <p><i>Physconia distorta</i> (fo) lobes étroits, gris, prulineux, nombreuses apothécies à disque prulineux, rhizinesnoires perpendiculaires au thalle.</p> <p><i>Ramalina fraxinea</i> (fr) lobes aplatis, longs (jusque 15-20 cm), verts sur les 2 faces, pendants, avec des apothécies latérales (pas uniquement sur frêne).</p>
---	--

2. Les Méthodes d'évaluation quantitatives (calcul d'un indice de pollution)

Leblanc et solvers (IPA) (30)

Cette méthode quantitative est l'une des plus connue et utilisée. Elle repose sur un indice auquel elle empreinte parfois le nom, IPA (*index of atmospheric Purity*) mis au point en 1970 par les deux auteurs.

Cet index est calculé après observation de la végétation lichénique sur l'ensemble du tronc, observé sur au moins 10 arbres.

C'est un indice de biodiversité dépendant de tous les facteurs de l'environnement où les valeurs les plus fortes indiquent une atmosphère de meilleure qualité.

IPA représentatif d'une station est le maximum obtenu sur les différents arbres de la station car celui-ci reflète la capacité potentielle des lichens à s'installer dans la station (48)

La faible valeur de IPA reflète un impact important de la pollution sur les lichens. Le calcul de l'IPA, bien que soumis à plusieurs variantes est réalisé de la manière suivante

$$IAP = 1 / 10 \cdot \sum_1^n Q \cdot f$$

Où n : nombre d'espèces dans chaque station ;

Q : indice écologique de chaque espèce (moyenne du nombre d'espèces accompagnantes d'une espèce donnée) ;

F : coefficient de recouvrement et de fréquence de chaque espèce évaluée de 1 à 10

Norme AFNOR (49) = IBLE

la norme AFNOR a été publiée en 2012, c'est sur cette base que se construisent les études de qualité de l'air à l'échelle de bassins de vie à l'aide des lichens

Elle repose sur le calcul d'indices issue de la pondération des taxons relevés à l'aide des indices de Wirth qui attribuent à chaque espèce de lichen un score de 1 à 9 dans différentes caractéristiques (la nitrophilie, la tolérance à la pollution...)

Le choix des phorophytes se fait d'abord via un repérage sur carte, dans l'optique de réaliser un échantillonnage de la pollution de fond. Les forêts, les sites aux conditions écologiques particulières sont à exclure.

Certains arbres sont à proscrire comme 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 être relativement droit (moins de 20° d'inclinaison) sur une hauteur assez importante ; il faut que le tronc soit droit et 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 ainsi qu'une exposition aux polluants différente.

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 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 soient 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

Les relevés en eux-mêmes se font entre 1m et 1m50 du tronc, sur les quatre faces nord est ouest sud à l'aide de grilles et 10cm de côté sur 50cm, divisées en 5 carrés.

L'inventaire est aussi exhaustif de possible, et est reporté dans des grilles d'échantillonnage par face et par arbre.

Les lichens sont déterminés sur place à l'aide de clefs, des échantillons et des photographies sont réalisées pour affiner les identifications.

Le traitement des données se fait ensuite en pondérant les fréquences d'apparitions des espèces à l'aides d'indices comme ceux de Wirth pour obtenir des scores par station.

On calcule la valeur de diversité lichénique LDV grâce à la formule suivante

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

Où SF correspond à la somme des fréquences d'occurrence de chaque lichen sur la face (N, E, O ou S) sur un arbre t. une moyenne est calculée ensuite entre tous les arbres d'un même site.

On calcule ensuite la valeur d'indicateur de d'eutrophisation (LDVN)

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

En se concentrant sur les espèces jugées nitrophiles par Wirth.

L'indice IDLE est généralement établi sur une échelle de 0 à 10, où 0 représente une qualité environnementale très pauvre ou fortement polluée, tandis que 10 indique une qualité environnementale excellente ou peu polluée.

- **Score IDLE inférieur à 3** : Cela indique une pollution atmosphérique élevée et une qualité environnementale très pauvre. Les espèces de lichens tolérantes à la pollution sont prédominantes, tandis que les espèces sensibles sont absentes ou rares.

- **Score IDLE entre 3 et 6** : Cela suggère une qualité environnementale modérée à moyenne, avec une présence d'espèces tolérantes et sensibles à la pollution. La diversité des espèces de lichens peut être relativement faible.
- **Score IDLE supérieur à 6** : Cela indique une bonne qualité environnementale et une faible pollution. Les espèces de lichens sensibles à la pollution sont prédominantes, et la diversité des espèces de lichens est généralement plus élevée.

Il est important de noter que l'interprétation du score IDLE doit être réalisée en tenant compte des spécificités régionales et des conditions locales. Certains facteurs tels que l'altitude, le type de végétation environnante et d'autres sources de pollution doivent également être pris en considération lors de l'analyse des résultats.

En résumé, un score IDLE élevé est associé à une meilleure qualité environnementale et à une faible pollution, tandis qu'un score IDLE bas indique une pollution atmosphérique élevée et une qualité environnementale pauvre.

Sciences participatives

Le programme lichen GO ! est un programme de sciences participatives créé en 2019 sous la direction de Sorbonne Université (Dr Laure Turcati).

Il permet, via une clef simplifiée des lichens les plus courants en ville à toute personne en ayant l'envie de participer à la cartographie des lichens de France.

Son protocole repose sur la sélection de trois arbres bien droits en ville, dont les branches les plus basses sont à 2 mètres de haut minimum, espacés de 2 à 10 mètres et dont la circonférence est de plus de 30 cm (50)

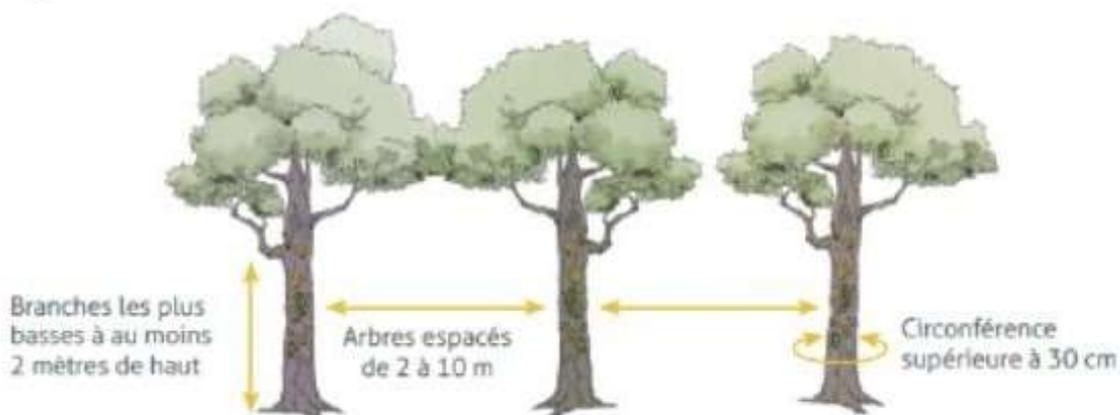


Figure 25 protocole lichen go !

on place ensuite une grille de 5 carrés alignés de 10cm de coté à 1 mètre du sol sur les 4 faces de l'arbres et à l'aide de la clef et de la grille de relevés on inventorie l'ensemble des lichens identifiés.

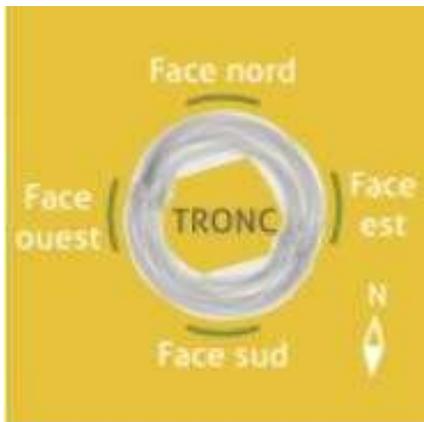


Figure 26 lichen go !

Les résultats sont ensuite saisis sur le site de lichen Go ! et enregistrés dans la base de données afin d'être traités par les équipes de Participae.

Cette méthode a été choisie pour donner suite aux essais réalisés d'abord avec une méthode d'analyse FOMOFa qui ne s'attarde que sur la couleur et la forme du lichen, qui ne produisait pas de résultats significatifs à grande échelle, ce pourquoi elle n'est pas faite, La méthode FOMOFa est destinée aux publics jeunes pour leur faire découvrir les lichens et dans ce cas elle donne de très bons résultats

L'expérimentation, d'abord en région lyonnaise a finalement abouti au protocole plus poussé décrit ci-dessus.

La méthode retenue, confronté à nos résultats partiels retrouvé sur les différents sites inventoriés de manière exhaustive lors de nos campagnes de 2018 dans Paris intramuros a donné des résultats significatifs et assez peu dégradés pour être exploités et j'ai eu la chance de pouvoir présenter ces résultats aux rencontres naturalistes organisées par l'agence régionale de biodiversité (ARB). (51)

IV. Le cortège lichénique parisien, étude historique et campagnes récentes

1. Méthodes d'analyses passées et actuelles dans Paris. (contexte)

Paris et l'histoire de l'étude de qualité de l'air grâce aux lichens.

Depuis le XIX^{ème} siècle, Paris est une ville qui a connu toutes les évolutions du mode de vie européen, d'un passé d'industrie lourde dans sa périphérie jusqu'à l'essor de l'automobile individuelle en passant par la guerre, la pollution de l'air de la capitale a été l'objet de nombreuses études, la biodivincation lichénique n'y a pas fait exception.

La concentration de naturalistes dans ses grands centres intellectuels a également participé à la multiplicité des études.

En Île-de-France, la majorité des inventaires lichénique a été réalisée entre le XVII^e siècle et les années 1990. Il n'existe de fait que peu de données sur la biodiversité actuelle. Tournefort en 1698 mentionne une trentaine d'espèces de lichens en Île-de-France(52). Un siècle plus tard, Mérat et Chevallier publient d'importants recueils sur l'Île-de-France avec un total de 349 espèces de lichens (53) (54). Néanmoins, leurs identifications seront remises en cause par Nylander (1896) en raison de nombreuses indications erronées et d'identifications inexactes dues à des déterminations basées sur des caractères macroscopiques et non microscopiques.

En 1896, Nylander constate une disparition des lichens corticoles jadis observés au jardin du Luxembourg, qu'il attribue aux récentes constructions autour du jardin et au « noir de fumée » émanant des usines avoisinantes. D'autres auteurs tels que Doignon et Bouly de Lesdain(55), poursuivent les inventaires dans et autour de Paris jusqu'au milieu du XX^{ème} siècle. La plupart des échantillons récoltés à Paris sont conservés dans l'herbier du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (herbier PC).

À partir des années 1970, les études ont eu pour objet la biosurveillance de la qualité de l'air et se sont basées sur la notation de la présence ou de l'absence d'espèces corticoles indicatrices (Bélaïr 1977(56) ; Déruelle 1983(57) ; PartiCitaE 2019)(58)

2. Chronologie des études régionales et type de pollution étudié

De 1866 à 1890 De l'abondance au désert. (Nylander) (6,49)

En 1860(59) le naturaliste et lichénologue Nylander réalise sa première étude des lichens de Paris intramuros. C'est dans le jardin du Luxembourg que portent la majeure partie de ces investigations.

Sa méthode, propre à son temps, est celle d'une déambulation aléatoire. Dans son recueil, il y décrit les lichens qu'il rencontre au gré de ses promenades dans le parc. Ces lichens sont le plus souvent corticoles, bien que quelques espèces saxicoles y soient décrites, en tout ce sont 12 espèces qui y sont inventoriées.

Après examen des parts d'herbier conservées par le muséum et l'étude de l'évolution des noms des taxons, la liste suivante peut être retenue, elle comporte, en plus des lichens récoltés dans le jardin en lui-même, les autres espèces que Nylander décrit dans son recueil, sans que la certitude qu'elles soient effectivement présentes dans le jardin ni même intramuros, ne puisse être complètement affirmée.

genre	espèce	nouveau nom	récolteur
ARTHONIA	PUNCTIFORMIS	ARTHONIA PUNCTIFORMIS ACH., K. VETENSK-ACAD. NYA HANDL. 29 : 130 (1808)	Nylander
CONIOCYBE	SULPHURELLA	CHAENOTHECA FURFURACEA (L.) TIBELL 1984	Nylander
LECANORA	ALBELLA	LECANORA ALBELLA (PERS.) ACH., LICH. UNIV. : 369 (1810)	Nylander
LECANORA	CERINA	CALOPLACA CERINA	Nylander
LECANORA	EXIGUA	RINODINA EXIGUA (ACH.) GRAY, NAT. ARR. BRIT. PL. (LONDON) 1: 450 (1821)	Nylander
LECANORA	HORIZA	LECANORA HORIZA (ACH.) RÖHL., DEUTSCHL. FL. (FRANKFURT) 3(2): 82 (1813)	Nylander
LECANORA	METABOLICA	ORCULARIA INSUPERATA (NYL.) KALB & GIRALT,	Nylander

		<i>PHYTOTAXA</i> 38: 56 (2011)	
<i>LECANORA</i>	<i>PARISIENSIS</i>	<i>LECANORA HORIZA</i> (ACH.) RÖHL., <i>DEUTSCHL. FL. (FRANKFURT)</i> 3(2): 82 (1813)	Nylander
<i>LECANORA</i>	<i>REFLEXA</i>	<i>CANDELARIELLA REFLEXA</i> (NYL.) LETTAU, <i>HEDWIGIA</i> 52 : 196 (1912)	Nylander
<i>LECANORA</i>	<i>TEICHOLYTA</i>	<i>CALOPLACA TEICHOLYTA</i> (ACH.) J. STEINER, <i>SBER. AKAD. WISS. WIEN, MATH. -NATURW. KL., ABT. 1</i> 104 : 388 (1895)	Nylander
<i>LECANORA</i>	<i>XANTHOSTIGMA</i>	<i>CANDELARIELLA XANTHOSTIGMA</i> (PERS. EX ACH.) LETTAU, <i>HEDWIGIA</i> 52 : 196 (1912)	Nylander
<i>LECIDEA</i>	<i>PARASEMA</i>	<i>LECIDELLA PARASEMA</i> (ACH.) ARNOLD, <i>VERH. ZOOL.-BOT. GES. WIEN</i> 23 : 116 (1873)	Nylander
<i>LECIDEA</i>	<i>TENEBROSA</i>	<i>SCHAERERIA FUSCOCINEREA</i> (NYL.) CLAUZADE & CL. ROUX, <i>BULL. SOC. BOT. CENTRE-OUEST, NOUV. SER., NUM. SPEC. 7</i> : 829 (1985) VAR. <i>FUSCOCINEREA</i>	Nylander
<i>NORMANDINA</i>	<i>PULCHELLA</i>	<i>NORMANDINA PULCHELLA</i> (BORRER) NYL., <i>ANNLS SCI. NAT., BOT., SER. 4</i> 15 : 382 (1861)	Nylander
<i>OPEGRAPHA</i>	<i>DIAPHORA</i>	<i>ALYXORIA VARIA</i> (PERS.) ERTZ & TEHLER, <i>FUNGAL DIVERSITY</i> 49(1) : 53 (2011)	Nylander
<i>OPEGRAPHA</i>	<i>PULICARIS</i>	<i>OPEGRAPHA PULICARIS</i>	Nylander
<i>OPEGRAPHA</i>	<i>RUFESCENS</i>	<i>PSEUDOSCHISMATOMMA RUFESCENS</i> (PERS.) ERTZ & TEHLER, IN ERTZ, TEHLER, IRESTEDT, FRISCH, THOR & VAN DEN BOOM, <i>FUNGAL DIVERSITY</i> 70: 45 (2014)	Nylander
<i>PARMELIA</i>	<i>ACETABULUM</i>	<i>PLEUROSTICTA ACETABULUM</i> (NECK.) ELIX & LUMBSCH, IN LUMBSCH, KOTHE & ELIX, <i>MYCOTAXON</i> 33: 453 (1988)	Nylander
<i>PERTUSARIA</i>	<i>AMARA</i>	<i>LEPRA AMARA</i> (ACH.) HAFELLNER, IN HAFELLNER & TÜRK, <i>STAPFIA</i> 104(1): 171 (2016)	Nylander
<i>PERTUSARIA</i>	<i>GLOBULIFERA</i>	<i>LEPRA ALBESCENS</i> (HUDS.) HAFELLNER, IN HAFELLNER & TÜRK, <i>STAPFIA</i> 104(1): 171 (2016)	Nylander
<i>PHLYCTIS</i>	<i>AGELAE</i>	<i>PHLYCTIS AGELAEA</i> (ACH.) FLOT., <i>BOT. ZTG.</i> 8: 8	Nylander

		(1850)	
PHYSCIA	OBSCURA	PHAEOPHYSCIA ORBICULARIS (NECK.) MOBERG, SYMB. BOT. UPSAL. 22(NO. 1) : 44 (1977)	Nylander
PHYSCIA	PARIETINA	XANTHORIA PARIETINA (L.) TH. FR., LICH. ARCTOI 3: 69 (1860) VAR. PARIETINA	Nylander
PHYSCIA	PITYREA	PHYSCONIA GRISEA (LAM.) POELT, NOVA HEDWIGIA 9: 30 (1965)	Nylander
URCEOLARIA	ACTINOSTOMA	DIPLOSCHISTES ACTINOSTOMUS (ACH.) ZAHLBR., HEDWIGIA 31 : 34 (1892)	Nylander
URCEOLARIA	LICHENICOLA	DIPLOSCHISTES MUSCORUM (SCOP.) R. SANT., IN HAWKSWORTH, JAMES & COPPINS, LICHENOLOGIST 12(1): 106 (1980)	Nylander
VERRUCARIA	BIFORMIS	ANISOMERIDIUM BIFORME (BORRER) R.C. HARRIS, IN VĚZDA, FOLIA GEOBOT. PHYTOTAX. 20 : 207 (1978)	Nylander

Après trois décennies d'essor industriel massif autour de la capitale, Nylander retourne dans le jardin. Ce qu'il y découvre en 1896 confirme ses présentiments, les « noirs de fumée » ont complètement détruit la flore lichénique qu'il avait inventoriée. Il n'y retrouve alors plus aucun lichen.

« On y trouve plus les espèces d'il y a trente ans. Sur les Marronniers de l'allée de l'Observatoire et ailleurs, absence complète de Lichens » (6)

Fin de la guerre, déclin du charbon, essor de l'automobile personnelle ;

Bouly de Lesdain (1948) (55) Ce n'est qu'après-guerre qu'on retrouve des relevés lichéniques dans Paris intramuros. C'est le naturaliste Bouly de Lesdain qui va retourner sur les traces de Nylander en 1948 (60) après avoir inventorié une grande partie de la forêt de Fontainebleau et des environs de Versailles avant la guerre (61) (62) (63) Bien que les textes qu'il nous ait laissés ne soient pas toujours très précis sur les lieux de récolte

1970 à nos 1981 la pollution change

En 20 ans, les émissions et les concentrations dans l'air extérieur du dioxyde de soufre, du monoxyde de carbone, de certains composés organiques volatils et du plomb ont fortement diminué. Les pouvoirs publics ont mis en place des solutions efficaces comme l'interdiction du plomb dans les carburants des véhicules à essence à partir des années 2000. Grâce à cette mesure, les concentrations moyennes annuelles de plomb dans l'air sont très inférieures aux limites fixées par la réglementation française ($0,5\mu\text{g}/\text{m}^3$). Au cours des 15 dernières années, une diminution des concentrations de dioxyde d'azote et de PM_{10} a pu être constatée. En revanche, les teneurs moyennes estivales en ozone ont tendance à augmenter. De plus, dans plusieurs zones urbaines françaises, les valeurs limites fixées par les directives européennes ne sont pas respectées pour ces polluants. (64)

(65) Cette tendance baissière s'amorce donc dans les années 1990 avec notamment la généralisation des pots catalytiques installés sur les automobiles.

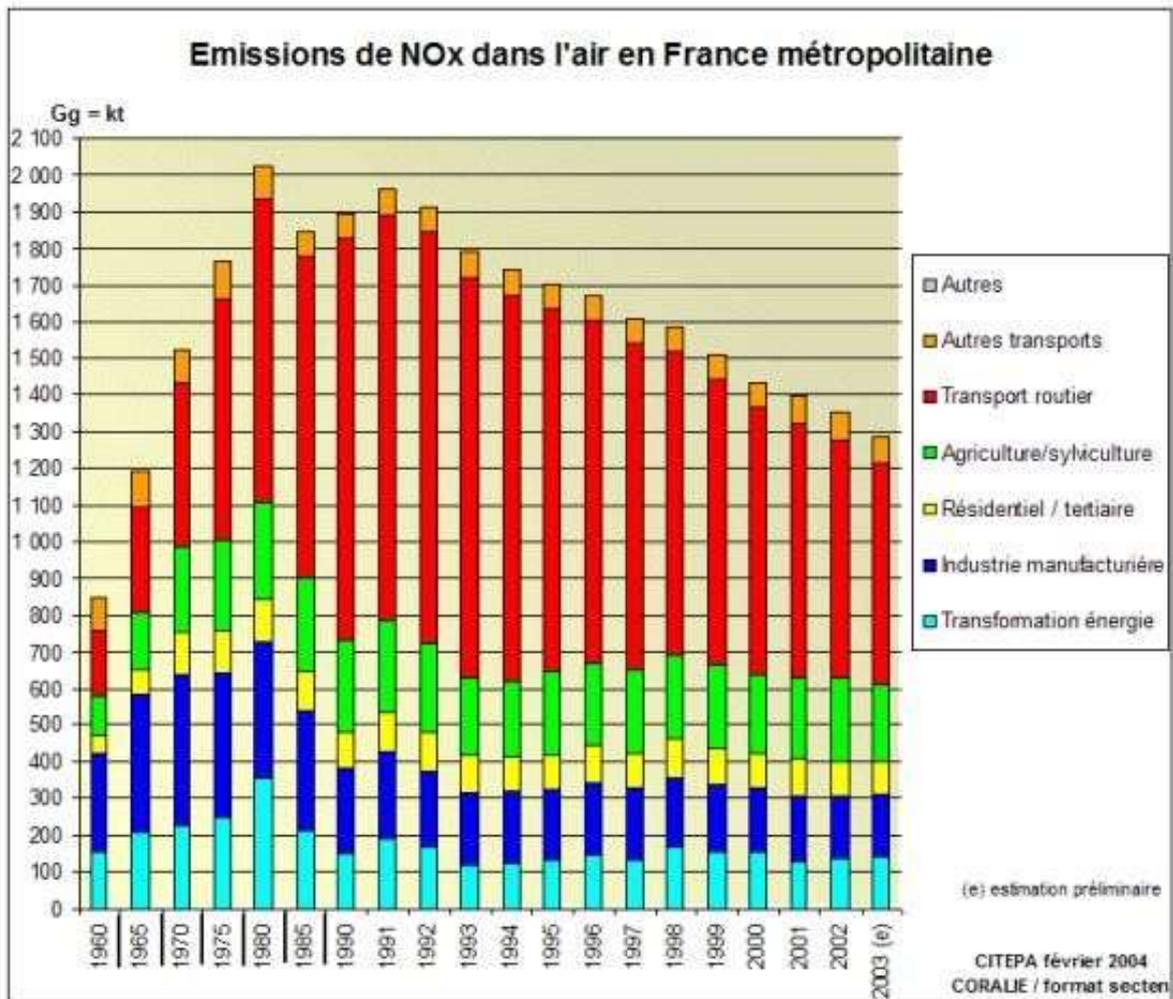


Figure 27 émissions de NOx dans l'air en France métropolitaine (65)

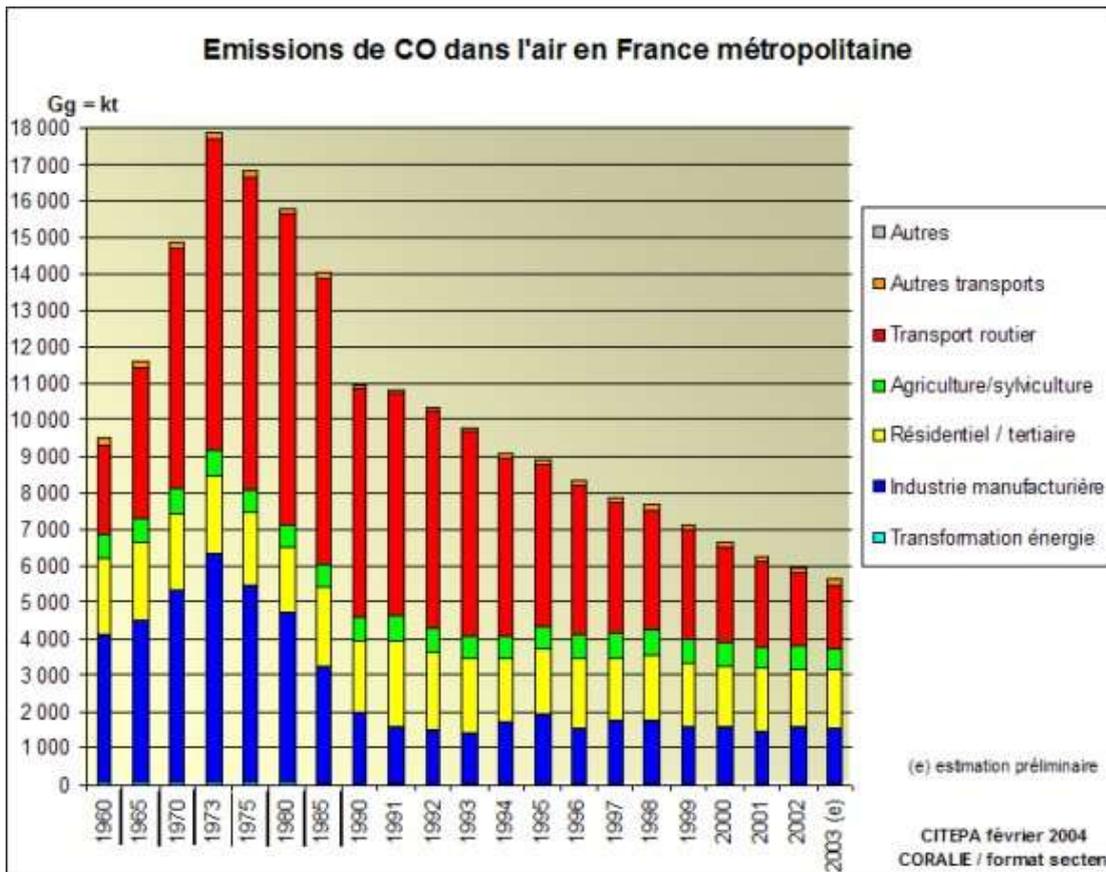


Figure 28 émissions de CO dans l'air en France Métropolitaine (65)

Les hydrocarbures polycycliques, sont issus de la combustion incomplète des matières organiques comme le charbon, le bois ou les carburants. Cette évolution des taux d'émission est ici plutôt due aux changements d'habitudes de chauffage plutôt qu'à des progrès du transport routier

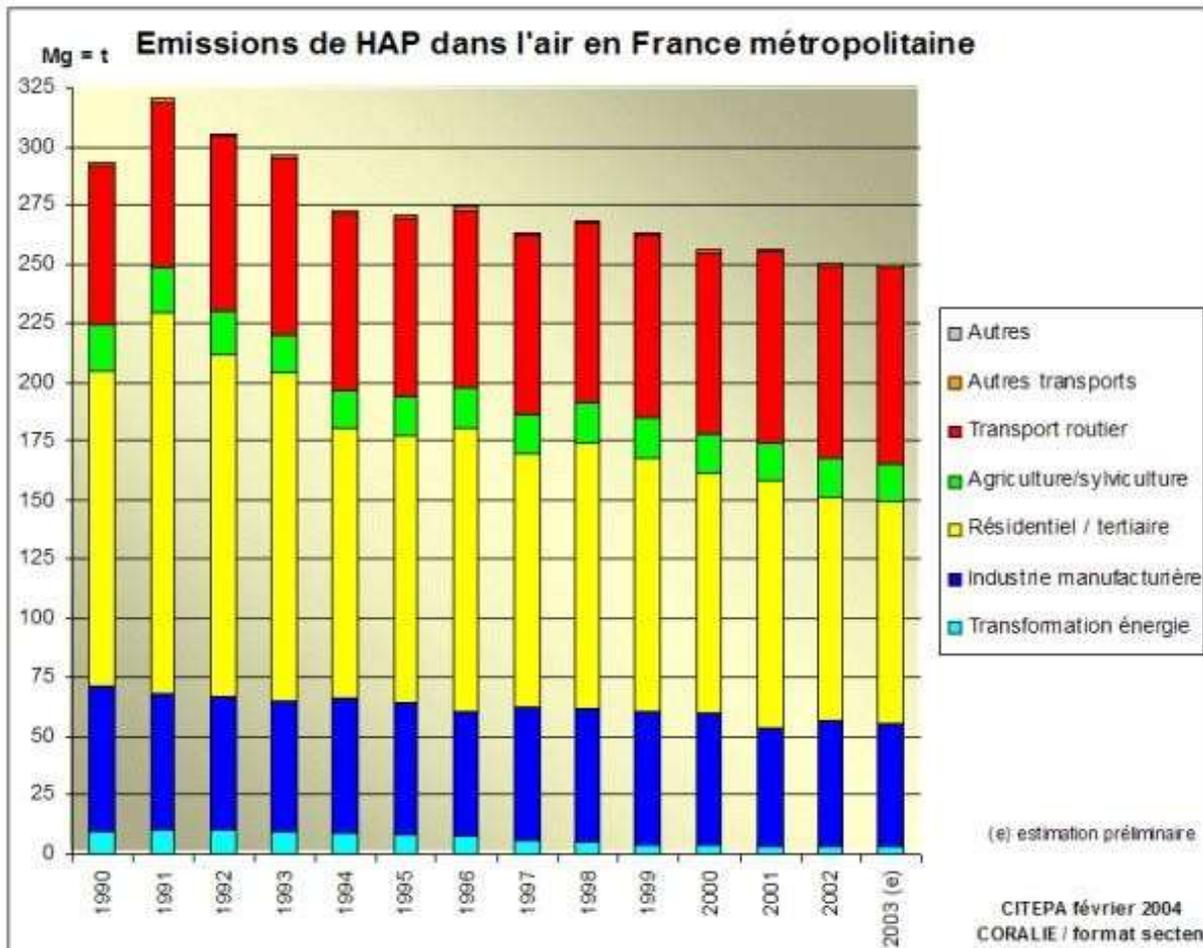


Figure 29 Emissions de HAP dans l'air en France Métropolitaine (65)

L'ensemble des informations disponibles aujourd'hui indiquent très clairement que les émissions de gaz polluants liés à la circulation automobile diminuent très nettement malgré une augmentation continue des kilomètres parcourus en France et ceci depuis une quinzaine d'années. Cette baisse des émissions de polluants primaires (émis directement par les véhicules) se traduit conformément et logiquement par une baisse des concentrations mesurées dans l'air ambiant. Pour les polluants secondaires, (issus d'une réaction chimique dans l'air) l'évolution est moins simple. Le dioxyde d'azote par exemple, baisse de manière visible mais dans des proportions inférieures à la baisse des polluants primaires, pour l'ozone, la tendance semble être à la hausse. (66)

De 1981 à 1991, du désert au repeuplement

Pendant cette période d'application des normes environnementales et de modification de la pollution de l'air, un bouleversement de la flore lichénique parisienne va s'opérer.

Entre 1981 et 1991, deux études sont réalisées dans les mêmes conditions dans Paris intramuros. La comparaison de ces deux études, mise en regard de l'évolution du taux de pollution dans Paris intramuros dans la même temporalité met en lumière un repeuplement en lichens.

En 1981, Paris intramuros comptait 1 espèce de lichens identifiées, le très poléotolérant *Lecanora conizaeoides*. (67) et l'algue poléotolérante *Pleurococcus viridis*, en 1991 c'est 31 espèces qui ont été dénombrées soit un peu plus d'un tiers de celles reconnues en Ile de France à l'époque.

3. Lebreton et Rivart ATM LiPaChe

Dans le cadre du programme LiPaChE initié en 2017 (évolution spatio-temporelle de la diversité Lichénique Parisienne en lien avec les Changements Environnementaux) soutenu par l'IAU IdF (Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région Ile de France) et l'ATM (Action Transversale du Muséum), nous avons étudié l'évolution spatio-temporelle de la diversité spécifique de la lichénofonge corticole à Paris en relation avec les pressions environnementales (changement climatique, pollution atmosphérique, urbanisme).

Dans ce cadre, nous avons réalisé et étudié l'inventaire des lichens présents sur les arbres d'alignement appartenant à huit essences d'arbre communes de Paris. (58)

Matériel et méthodes

Trois sites parisiens ont été étudiés. Les sites ont été sélectionnés selon 2 critères : présence de 5 arbres d'alignements de la même espèce et présence d'au moins une espèce commune entre les sites. Dans 2 sites, seulement 3 ou 4 arbres d'alignements ont pu être prospectés.

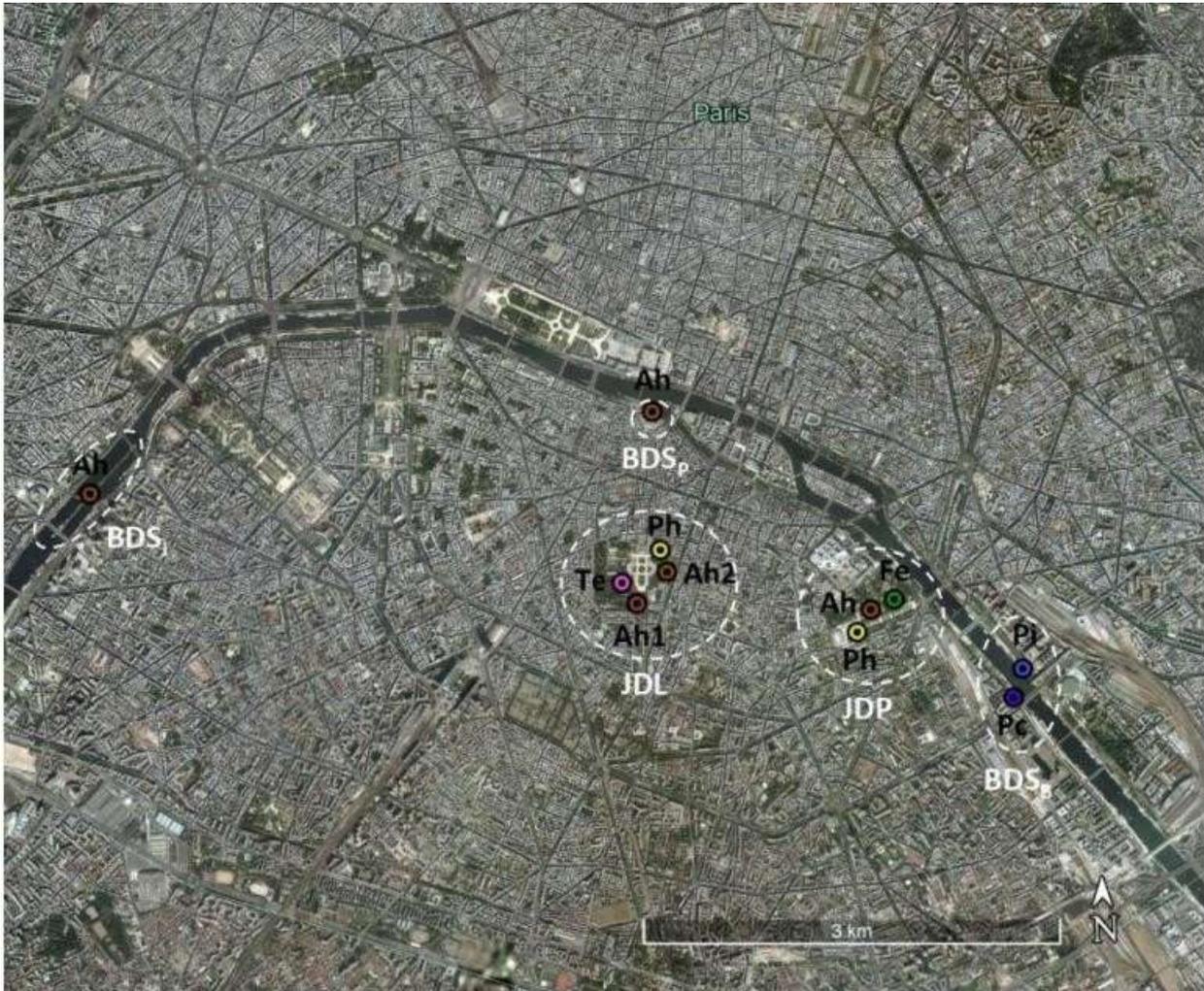


Figure 30 Paris et les essences d'arbres prospectées.

Ah : *Aesculus hippocastanum* L., 1753 (*Marronnier d'Inde*), Fe : *Fraxinus excelsior* L., 1753 (*Frêne commun*), Ph : *Platanus x hispanica* Mill. ex Münchh., 1770 (*Platane*), Pi : *Populus nigra* var. *italica* Du Roi, 1772 (*Peuplier noir*), Pc : *Populus x canescens* (Aiton) Sm., 1804 (*Peuplier grisard*), Te : *Tilia x europaea* L., 1753 (*Tilleul*)

- LES BORDS DE SEINE

« La Seine coupe Paris en son milieu sur 13 km et sa largeur varie de 30 à 200 m. Le site des bords de Seine a été divisé en 3 stations, Bercy, Pont Neuf et Ile aux Cygnes, distantes les unes des autres d'environ 3-4 km.

La station Bercy et la station Pont Neuf éloignées de 3 km sont similaires. Les arbres prospectés sur ces 2 stations sont : 5 marronniers (*Aesculus hippocastanum* L., 1753) et 10 peupliers (5 *Populus nigra* var. *italica* Du Roi, 1772 et 5 *Populus x canescens* (Aiton) Sm., 1804).

Ces arbres sont localisés sur les berges bitumées, soumises aux crues de la Seine. La route est au-dessus de la berge, sur le quai haut. Les arbres sont placés à 1 m d'un mur et à 3 m de la Seine.

L'Ile aux Cygnes est située au milieu de la Seine et n'est pas impactée par les crues. Cette station se présente sous la forme d'un chemin pavé qui est encadré par deux grandes allées d'arbres plantés en terre. Cinq marronniers y ont été prospectés. » (58)

- Le Jardin Des Plantes

Le Jardin des Plantes est situé dans le 5^{ème} arrondissement de Paris. Dans les deux grandes allées de platanes (*Platanus x hispanica* Mill. ex Münchh., 1770), 5 individus ont été prospectés ainsi que 5 marronniers dans une autre allée. Ces platanes, bien que hors protocoles, nous ont semblé intéressants par la flore qu'ils abritaient. Les trois frênes communs (*Fraxinus excelsior* L., 1753) situés dans l'allée des marronniers ont été observés. Avec plus de 3 millions de visiteurs par an (68), le Jardin des Plantes est un lieu très fréquenté. Par conséquent, les arbres sont taillés chaque année pour éviter les chutes de branches et le sol comporte un revêtement calcaire pulvérulent qui contribue, par son piétinement, à un empoussièrement de la base des troncs.

• Le jardin du Luxembourg

Le jardin du Luxembourg est situé dans le 6^e arrondissement de Paris. Les inventaires ont été réalisés dans 3 parties du jardin caractérisées par l'essence du phorophyte et le revêtement du sol.

Dans l'allée Gay-Lussac, les marronniers sont plantés dans un sol avec un revêtement calcaire pulvérulent, fortement émetteur de poussières. Dans l'allée de l'observatoire, les marronniers sont plantés sur un mélange d'argile et de calcaire en raison de la présence de larges bandes de pelouse à proximité directe des arbres.

Nous avons donc prospecté 5 marronniers pour chaque zone.

Les 5 tilleuls échantillonnés ont été plantés de manière groupée avec un espace régulier entre chaque arbre dans un sol granuleux mais moins émetteur de poussières que l'allée Gay-Lussac.

Enfin, les 5 platanes situés dans l'allée de platanes ont été prospectés ; le terrain calcaire est similaire à celui des marronniers de l'allée Gay-Lussac.

Protocole de terrain utilisé

Protocole adapté de la méthode IAP : Les arbres d'alignements respectant les critères morphologiques de la norme NF EN 16413 ont été sélectionnés : tronc droit (ni coupé ni fendu), recouvrement bryophytique inférieur à 20 % et circonférence comprise entre 50 et 250 cm. La prospection des arbres a été effectuée sur le pourtour du tronc allant de sa base jusqu'à 2 m de hauteur

Protocole adapté des méthodes naturalistes du 19^{ème} siècle. (Biodiversité) :

Le choix de l'arbre est aléatoire ; il concerne des essences d'arbres isolées présentes sur le site et ne tient pas compte de la circonférence du tronc. Seuls les lichens dont la présence n'a pas été constatée sur les arbres d'alignement ont été relevés. Les espèces de lichens dont la détermination sur arbre est possible ont été notées directement sur les fiches de relevé de terrain, tandis que les spécimens non-identifiables sur site ont été échantillonnés dans des sachets en papier pour une détermination en laboratoire, puis conservés dans l'herbier PC du MNHN

4. Résultats

Dans le cadre de cet inventaire lichénique, 20 arbres d'alignement ont été observés au JDL, 13 au JDP, 20 sur les bords de Seine. Une trentaine d'arbres ont été également observés pour compléter l'inventaire de biodiversité.

Au Jardin du Luxembourg, en plus des 20 phorophytes observés (Fig.1), nous avons observé l'ensemble des marronniers de l'allée de l'observatoire et de Gay Lussac, ainsi que les tilleuls entourant le terrain de tennis, et les platanes de l'allée longeant la rue Médicis.

Nous avons également observé un Ginko, de jeunes arbres de Judée et des arbustes de la famille des Fabacée qui venaient d'être plantés. Ces observations, purement descriptives, ont été réalisées pour illustrer la diversité présente dans le jardin mais n'ont pas de valeur statistique.

Au Jardin des plantes, nous avons examiné l'ensemble des platanes localisés le long de l'allée jouxtant le bâtiment de l'herbier national, ainsi que le savonnier de l'allée Jussieu.

5. Tableau de synthèse des taxons retrouvés dans les sites parisiens échantillonnés.

ESSENCES D'ARBRES : AH : AESCULUS HIPPOCASTANUM (MARRONNIER D'INDE), AH1 : AESCULUS HIPPOCASTANUM DE L'ALLEE DE L'OBSERVATOIRE, AH2 : AESCULUS

HIPPOCASTANUM DE L'ALLEE DE GAY-LUSSAC, AP : ACER (ERABLE PLANE), BP1 : BETULA PENDULA (BOULEAU) DE LA PRAIRIE, BP2 : BETULA PENDULA DE LA MARE,

FE : FRAXINUS EXCELCIOR (FRENE COMMUN), PH : PLATANUS x HISPANICA (PLATANE), PI : POPULUS CF. NIGRA VAR. ITALICA (PEUPLIER NOIR), PC : POPULUS CF. CANESCENS

(PEUPLIER GRISARD), QR : QUERCUS ROBUR (CHENE PEDONCULE), TE : TILIA EUROPAEA (TILLEUL)

Tableau 2 Tableau de synthèse des taxons retrouvés dans les sites parisiens échantillonnés.

		bord de seine (bercy)	bord de seine (pont neuf)	bord de seine (ile aux cygnes)	jardin du luxembourg	jardin des plantes
AMANDINEA	PUNCTATA		ah		ah1 ah2 Te	ah fe
ARTHROSPORUM	POPULORUM	Pi				
CALOPLACA	ARNOLDII				ah2	
CALOPLACA	CERINELLA	Pc Pi			ph	ah ph
CALOPLACA	CITRINA				ah2	ph
CALOPLACA	FLAVOCITRINA		ah		ah2	fe
CALOPLACA	GRP CITRINA		ah		ah1	ah fe ph
CALOPLACA	PYRACEAE				Ah2 ph	ph
CANDELARIA	CONCOLOR		ah		Ah 1 ph te	ah fe
CANDELARIELLA	AURELLA				Ah2	
CANDELARIELLA	XANTHOSTIGMA	Pc Pi	ah		Ah1 Te	ah
DIPLOICIA	CANESCENS				ah	ah
ENDOCARPON	ADSENDENS					fe
FLAVOPARMELIA	CAPERATA				te	
FLAVOPARMELIA	SOREDIANS				te	ah
HYPERPHYSCIA	ADGLUTINATA	pc pi	ah	ah	ah 1 ah2 ph Te	ah fe ph
LECANIA	CYRTELLA					ah fe ph
LECANIA	SP	pc				ah
LECANORA	CARPINEA				ah1	
LECANORA	CHLAROTERA				te	ah
LECANORA	COMPALLENS		ah		te	ah
LECANORA	CONIZAEOIDES		ah			
LECIDELLA	ELAEOCHROMA		ah		Ah1	ah
LEPRARIA	INCANA				te	ah
MELANIELIXIA	SUBAURIFERA				te	
MYRIOLECIS	ALBESCENS				ah2	fe ph
MYRIOLECIS	DISPERSA		ah		Ah2 te	ah
MYRIOLECIS	HAGENII	pi			ah2 ah1	ah fe ph
PARMELIA	SULCATA		ah		te	
PARMOTREMA	PERLATUM				te	fe
PHAEOPHYSCIA	ORBICULARIS	pc pi	ah		ah1 te	ah fe ph
PHYSCIA	ADSENDENS	pc pi	ah	ah	te	ah fe ph

<i>PHYSCIA</i>	<i>TENELLA</i>	pc pi	ah		ah1 ah2 Ph te	ah ph
<i>PHYSCONIA</i>	<i>GRISEA</i>	pi			Ah1	af fe
<i>PLEUROSTICTA</i>	<i>ACEBULUM</i>		ah			
<i>PROTOPARMELIOPSIS</i>	<i>MURALIS</i>					ah
<i>PSEUDOSCHISMATOMMA</i>	<i>RUFESCENS</i>				Ah1	
<i>PUNCTELIA</i>	<i>BORRERI</i>		ah		te	fe
<i>PUNCTELIA</i>	<i>SUBRUDECTA</i>		ah		te	fe
<i>ROMALINA</i>	<i>FARINACEA</i>					ah
<i>RINODINA</i>	<i>GENNARII</i>				Ah2	ah
<i>XANTHOMENDOZA</i>	<i>HUCULICA</i>				te	
<i>XANTHORIA</i>	<i>PARIETINA</i>	pc pi	ah	ah	Ah1	af fe ph

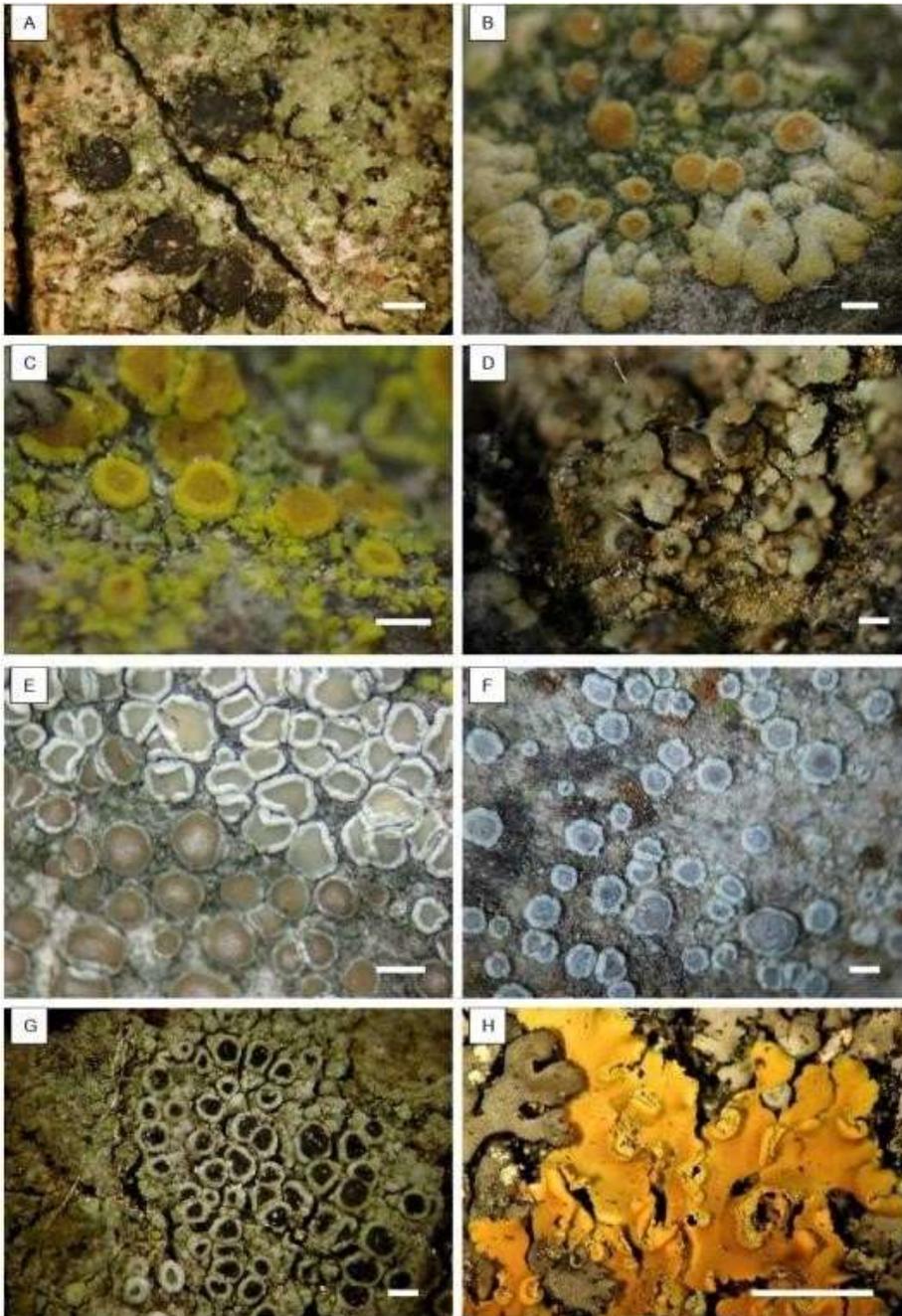


Figure 31 PHOTOGRAPHIES DE HUIT ESPECES DE LICHENS COLONISANT LES ARBRES DE PARIS, VUS A LA LOUPE BINOCULAIRE. A, *ARTHROSPORUM POPULORUM* A. MASSAL., 1853; B, **CALOPLACA ARNOLDII* (WEDD.) ZAHLBR. EX GINZB., 1915 ; C, *CANDELARIELLA AURELLA* (HOFFM.) ZAHLBR., 1928 ; D

CREDITS PHOTOS : C. VAN HALUWYN (A & B), E. LEBRETON (C, D, E, F & G). * LICHENS NOUVEAUX POUR L'ÎLE DE FRANCE. ECHELLE = 0.5 MM

L'étude des trois sites (bords de Seine, Jardin du Luxembourg) a permis de dénombrer un total de 43 espèces de lichens. Selon le catalogue des lichens de France (Roux et al. 2017), quatre espèces sont nouvellement mentionnées pour la région Ile-de-France (*Caloplaca arnoldii* (Wedd.) Zahlbr. ex Ginzb., 1915, *Caloplaca flavocitrina* (Nyl.) H. Olivier, 1909, *Endocarpon adscendens* (Anzi) Müll. Arg., 1881, *Xanthomendoza hulula* (S.Y. Kondr) Diederich, 2014) et 3 en plus pour la ville de Paris (*Flavoparmelia soledians* (Nyl.) Hale, 1986 ; *Lecanora compallens* van Herk & Aptroot, 1999 ; *Rinodina gennarii* Bagl., 1861).

(le travail d'inventaire et d'analyse du cortège de ces stations est un travail réalisé conjointement avec Me Lebreton, alors stagiaire comme moi au sein d'UMS patrinat.

L'analyse des nouvelles espèces pour Paris, bien que découverte conjointement, n'est à porter qu'à son mérite, j'étais alors chargé de réaliser la synthèse historique des études menées dans Paris depuis Nylander)

Répartition spatiale des lichens

- Le site des bords de Seine est divisé en trois stations.

Ce site présente 23 espèces de lichens mais seulement 3 espèces sont communes à toutes les stations (*Hyperphyscia adglutinata* (Florke) H. Mayrhofer & Poelt, 1979 ; *Physcia adscendens* (Fr.) Oliv, 1882 ; *Xanthoria parietina* var *parietina* (L.) Th. Fr., 1860).

Les deux stations similaires en termes de conditions environnementales (Bercy et Pont Neuf) ont seulement 3 espèces de lichens en commun. Cette différence de cortège peut être dû aux essences d'arbres prospectées (10 peupliers à Bercy contre 5 marronniers à Pont neuf). A l'inverse, les stations Bercy et Ile aux cygnes possèdent 6 espèces en communs soit 49% des espèces des espèces de Bercy et 33% des espèces de l'île aux Cygnes. Les lichens du Jardin des Plantes (34 espèces avec le protocole IAP) et du Jardin du Luxembourg (37 espèces avec le protocole) sont proches en termes de composition du cortège lichénique.

En effet, avec le protocole IAP, nous retrouvons 27 espèces communes entre les deux parcs soit 61% des espèces.

A l'inverse, nos résultats ne montrent que 16 espèces communes entre les Bords de Seine et le Jardin des Plantes (47% des espèces) et 17 communes entre les Bords de Seine et le Jardin du Luxembourg (54% des espèces).

La distribution des lichens corticoles en milieu urbain est influencée par de nombreux facteurs : conditions écologiques stationnelles, types de phorophytes disponibles, qualité de l'air....

Différentes hypothèses peuvent être formulées pour expliciter les ressemblances ou différences entre sites.

- Effet « essence d'arbre ».

Le cortège lichénique peut dépendre des caractéristiques chimiques de l'écorce (69) ou physiques (lisse ou rugueuse). Le pH est généralement considéré comme la propriété principale avec la rugosité du substrat à laquelle répondent les lichens (Van Herk et al. 2003 ; Bates et al. 1990). Nous avons pu observer que certaines essences d'arbres étaient plus riches en nombre de taxons que d'autres. Par exemple, au Jardin du Luxembourg, nous avons dénombré un total de 16 espèces de lichens sur les 5 tilleuls d'alignement (une moyenne de 8 espèces par arbre). Dans le même site, les 5 platanes ne présentaient au total que 6 espèces de lichens (moyenne de 4 espèces par arbre) en raison du caractère « desquamant » de leur écorce. Ces deux essences d'arbres n'avaient que 4 espèces de lichens en commun. L'effet essence d'arbre est également fortement présent sur le site des bords de Seine. Ainsi, bien que les conditions environnementales soient similaires entre les stations Bercy et Pont neuf, Bercy présente un nombre d'espèce (11) quatre fois supérieur à celui de la station Pont Neuf (3).

V. Étude du cortège du parc du château de Versailles

1. Matériel et méthode

Site d'étude Parc du Château de Versailles

- Historique

Ouvert en 1682 par Louis XIII, le parc du château de Versailles est situé à l'ouest du château. Sous l'ancien régime, il était divisé en deux grandes zones, une vaste région boisée aux abords du château et du village et d'un petit parc organisé en jardins à la française.

Au fil des siècles, ce parc a subi de nombreuses modifications dues aux aléas climatiques ou aux volontés du pouvoir politique qui voulait y inscrire sa marque. Malgré ces nombreuses évolutions, c'est le style de l'architecte André le Nôtre qui traversera les époques.

Le parc du château de Versailles s'étend sur plus de 800 ha. Dans ce parc entièrement clos, se trouvent plusieurs monuments et curiosités qui font la renommée du château de Versailles outre le Palais : l'orangerie, le grand canal, les jardins à la Française, les bassins, et le domaine de la reine comprenant dans le Grand Parc le petit Trianon et le grand Trianon.(70)

Au bas du château, l'Orangerie de Versailles est située sous le « Parterre du Midi ». Elle est formée d'une galerie centrale de 155 mètres de long encadrée par deux galeries latérales situées sous les « escaliers des Cent Marches ». L'orangerie a une hauteur de 13m et contient plus de 1000 arbres, orangers, citronniers, grenadiers dont certains plusieurs fois centenaires, lauriers roses, ... et l'ensemble est éclairé par de grandes fenêtres. Les arbres produisent peu de fruits et les jardiniers du château de Versailles les sortent de la mi-mai à la mi-octobre de chaque année.

Le grand canal en forme de croix, d'une longueur de 1,5 km et d'une largeur de 62 m et d'une périphérie totale de 5,5 km, prolonge dans son axe principal la perspective du jardin du château de Versailles vers l'infini. Bordé de hêtres, de chênes, de frênes et de merisiers il forme un ensemble harmonieux.

Le Grand Canal sert lors des somptueuses fêtes royales, comme point de départ des feux d'artifice, mais aussi comme réel décor de théâtre. Le Grand Canal a accueilli du temps de Louis XIV une flotte conséquente : un trois-mâts, une galère, des chaloupes, des gondoles provenant de Venise,

.... D'un point de vue pratique le grand canal, situé en contrebas du château, servait également à récupérer l'eau des fontaines, qui étaient ensuite pompées pour revenir à leur point de départ.

Les jardins du château de Versailles comportent plus de 30 bassins dont les célèbres Bassin de Neptune, Bassin d'Apollon, Bassin de Latone, ... Chaque bassin comporte des jets d'eaux qui participent au même titre que les 50 fontaines du jardin au magnifique spectacle des grandes eaux musicales de Versailles.

La replantation est quelque chose de commun pour n'importe quel jardin d'une grande longévité et Versailles n'est pas une exception. Au cours de leur histoire, les jardins de Versailles ne subirent pas moins de cinq replantations majeures, qui s'exécutèrent pour des raisons aussi bien esthétiques que pragmatiques.

1774-1775

Lors de l'hiver, Louis XVI ordonne la replantation des jardins, car certains arbres, soit malades soit envahissants, ont besoin d'être remplacés. De même, le style des jardins à la française du XVIIème siècle fait démoder et son objectif cherche à établir une nouvelle esthétique dans les jardins – une esthétique moins coûteuse à maintenir : des jardins à l'anglaise. Pourtant, le projet n'est pas achevé car la topologie des jardins est plus favorable à des jardins à la française.

1860-1883

En 1860, on commence par abattre et remplacer une bonne partie des vieux arbres datant de Louis XVI. Puis, en 1870, une violente tempête frappe la région et provoque des dégâts arboricoles étendus. Finalement, à cause de la guerre franco-allemande et de La Commune de Paris, qui précipitent la chute du Second Empire, la replantation ne reprend qu'en 1883.

1990-1999

Deux tempêtes s'abattent sur Versailles, en 1990 puis en 1999, donnant lieu aux replantations les plus récentes. Les dégâts causés par ces tempêtes à Versailles et à Trianon provoquent la perte de milliers d'arbres – les pires dégâts dans l'histoire de Versailles. Ces deux périodes de replantations successives sont cependant l'occasion pour les autorités du musée et du gouvernement de restaurer certains bosquets et d'en reconstituer d'autres, abandonnés depuis l'époque de Louis XVI (comme le bosquet des Trois-Fontaines, restauré en 2004).

En raison du cycle naturel des replantations à Versailles, il est quasiment certain qu'aucun arbre datant de l'époque de Louis XIV ne se trouve aujourd'hui encore dans les jardins.

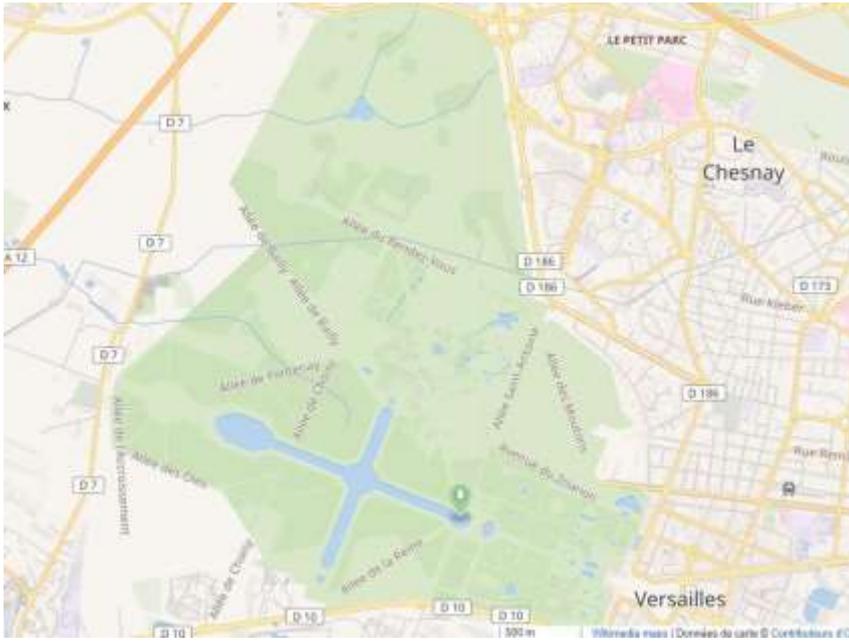


Figure 32 plan du domaine du chateau de versailles

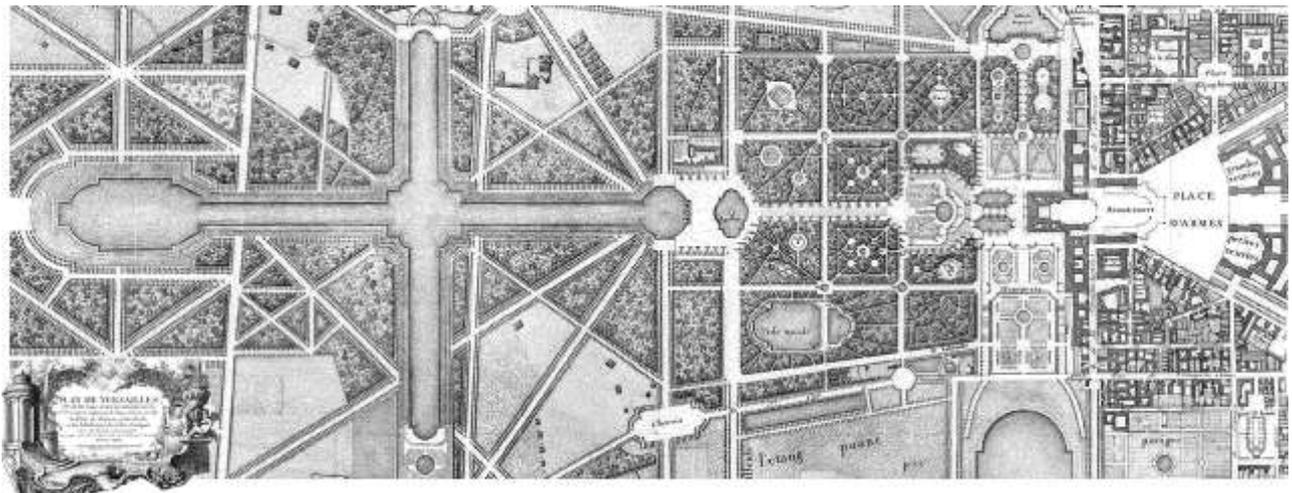


Figure 33 Plan des jardins du château de Versailles en 1746, par Jean Delagrive.(71)

Protocole d'étude

● Choix du site d'étude

Le site d'étude doit valider les critères suivants :

Présenter une certaine homogénéité sur sa longueur (ne pas être un assemblage hétéroclite de différents phorophytes visiblement issus de campagnes de regarnis différentes.) Ces sites d'observations sont des allées, donc toujours un linéaire.

Présenter toutes (ou un maximum) des caractéristiques du site auquel il est apparié. Les caractéristiques étudiées sont détaillées çï après

- Type de sol de l'allée (gravier, pelouse, « forestier » ...)
- Type de sol sur lequel les phorophytes sont plantés (pelouse, herbes hautes, terre, graviers...)
- Environnement proche (bordure de champ, de forêt, de route...)
- Taille et âge estimé des phorophytes similaire (l'âge étant souvent estimé.)
- Nous avons exclu les sites présentant de fortes résurgences d'eau (liés aux soucis de drainage présent sur le site), les sites aux phorophytes couverts de lierre et les sites où les phorophytes n'étaient pas alignés.

● Sélection des phorophytes

Critère auxquels doivent répondre les phorophytes

- Appartenir au genre *Tilia* Sp.
- Les phorophytes doivent avoir un périmètre de 40cm minimum
- Les phorophytes ne doivent pas avoir une zone basale sur laquelle la présence de trop nombreux « rejet » rendrait impossible l'étude des lichens de cette zone (en plus de former un micro-environnement particulier)
- La présence de bryophytes dans la zone basale n'est pas un obstacle en soi et constitue une information précieuse, pour autant, on évitera les phorophytes en étant totalement recouverts.

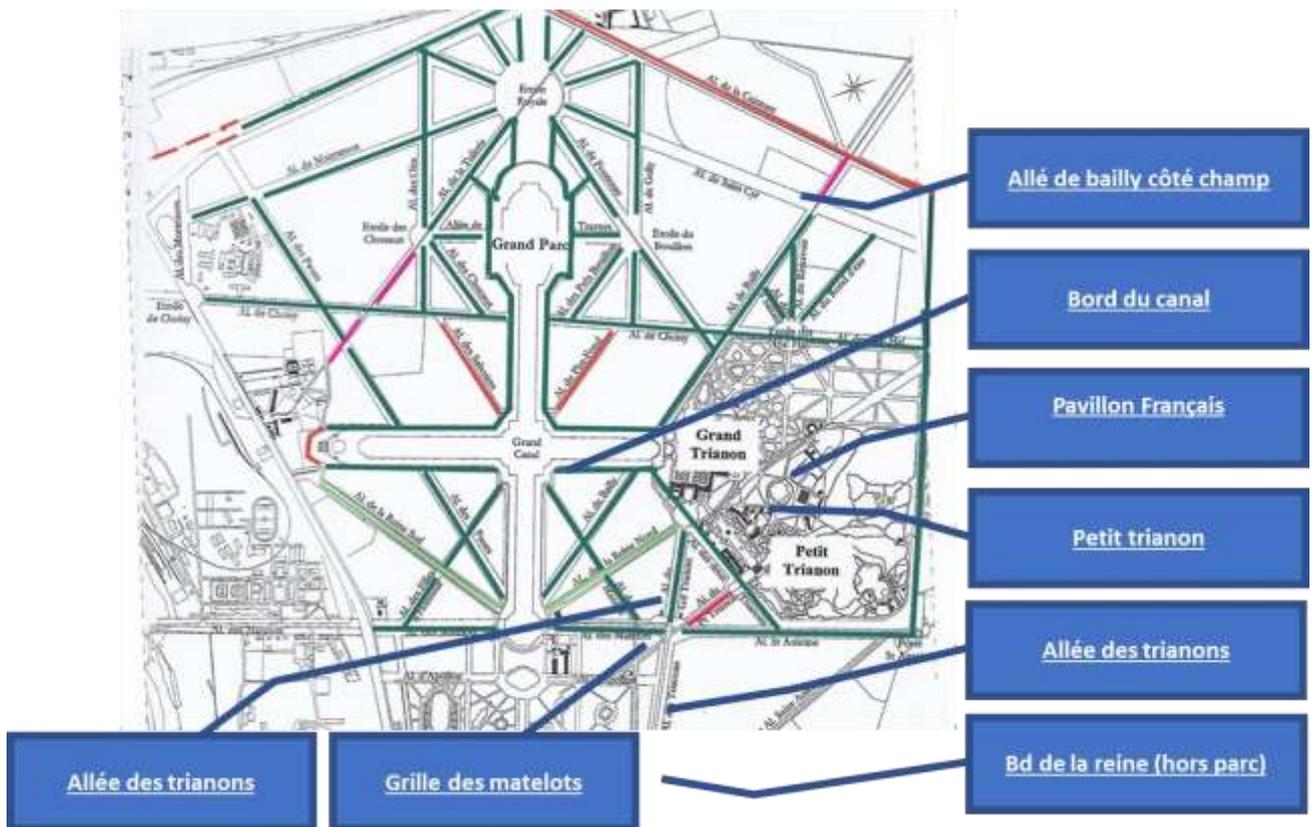


Figure 35 carte d'implantation des différents sites

2. Présentation des zones étudiées

Essais sur le nouveau substrat pulvérulent

La première zone étudiée est un espace au sein du parc à statut particulier : le passage des visiteurs y est soumis à autorisation, et ne se fait pas librement. Toutefois, des visites guidées y sont régulièrement organisées.

Elle se situe dans la zone du petit trianon, derrière le pavillon français. Un plateau technique interdit au public y est adossé.

Le substrat au sol est pulvérulent, et d'un genre nouveau. Cette zone sert d'essai pour un éventuel remplacement du substrat des autres zones à l'avenir. C'est un mélange de roche et de terre broyées selon un procédé breveté par l'entreprise l'ayant livré. Nous n'avons pas eu accès à sa composition. Toutefois, son aspect macroscopique est celui d'une poussière et de petit fragment de roches, globalement sableux. Il laisse une fine pellicule de poussière sur les mains à la manipulation et s'envole facilement. Le bas des troncs en est partiellement recouvert malgré son installation récente (environ trois mois avant les relevés.)

Cette zone est située dans une partie du parc très entretenue, proche de bâtiments historiques. La végétation y est taillée et régulièrement inspectée.

Les phorophytes sur lesquels nous avons effectué nos relevés sont plantés selon une disposition de double allées et taillés en « demi-marquise », ce qui porte le houppier assez haut.

Elle n'est pas gardée pour les comparaisons interzones, mais pourrait être utile ultérieurement pour constituer un blanc auquel comparer une étude future sur l'influence de ce nouveau substrat. L'étude ici n'est pas réalisée pour être utilisée ici, mais pour servir de point de référence à d'éventuelles études futures qui pourraient s'intéresser au sujet.



Figure 36 Trianon nouveau substrat

Petit Trianon» vs « pavillon français ».

- Zone du cote petit trianon,

Cette zone fait suite géographiquement à la première. Elle se situe dans l'alignement du petit Trianon, les phorophytes utilisés ici sont plantés de part et d'autre d'une allée centrale de jardin très entretenus. La bande centrale de l'allée est composée, du centre vers la périphérie, du parc enherbé et fleuri, puis d'un substrat pulvérulent.

Comme la précédente, cette zone n'est ouverte au public qu'en présence d'un guide et fait l'objet d'attention toute particulière par son caractère historique.

Les arbres y sont plantés selon une disposition quadruple, avec entre les deux séries de deux alignements, une petite haie de charmes. La taille des phorophytes est ici réalisée en « rideau », c'est-à-dire que le houppier est à environ deux mètres de haut, et plus développés dans le sens de l'allée que dans son largeur.

Une différence notable de colonisation des troncs a été notée entre les arbres de l'allée centrale et ceux du contre allée. Ceux du contre allée étant beaucoup moins recouverts en termes de surface.

De plus on notera que les arbres du côté intérieur de l'allée ont un recouvrement bryophytique important, alors que ceux à situés vers l'extérieur de cette dernière sont colonisés par le *Xanthorion parietinae* à la base.

Le sol des contres allées est également constitué de ce substrat. La hauteur sous couronne des phorophytes est ici d'environ 2 mètres 70. Cette zone n'a pas été retenue dans le cadre de ce travail mais a été échantillonnée en partie



FIGURE 37 PETIT TRIANON

- pavillon français (ZONE 3).

ZONE DEVANT LE PAVILLON FRANÇAIS.

Toujours dans le domaine dit de Marie Antoinette, La zone décrite ici est située en face du pavillon français. Cette structure est centrale au sein du jardin français du petit trianon. Elle fait donc l'objet d'attention toute particulière des jardiniers du parc et n'est accessible au public que lors des visites encadrées.

La zone est ici plus caillouteuse et plus ombragée. On note la présence de phorophyte envahis en grande partie par une algue brune que nous n'avons pas identifiée. La zone paraît plus humide de prime abord. La présence de *Pleurosticta Acetabulum* et de phorophytes recouvert en grande partie d'algue va dans ce sens

Les phorophytes sont encadrés par des haies de charmis, et disposé de manière quadruple, taillés en rideaux.

Les deux zones sont donc retenues pour une comparaison. (Cailloux en zone ombragée, pulvérulent en zone ensoleillée, pulvérulent en zone plus ombragée dans le contre allée)



FIGURE 38 ZONE PAVILLON FRANÇAIS



Figure 39 Trianon pavillon français

- Allée de Bailly (forestier)

Située à proximité du champ qui jouxte le jardin et en constitue une de ses frontières au nord, cette zone est garnie de phorophytes bien développés et visiblement plus anciens.

La zone forestière est caractérisée par une zone centrale en bitume sur le tronçon A puis par une zone en pavés sur la zone B. les abords sont boisés.

La couverture lichénique des phorophytes est faible. On notera des passages de voitures possibles.

Les phorophytes (*Tilia sp*) présentent des rejets à leurs bases qui peuvent parfois poser un problème pour l'étude.



FIGURE 40 ALLEE DE BAILLY



FIGURE 41 ALLEE DE BAILLY (FORESTIER)

- Allée de Bailly coté champ

Dans son tronçon B, l'allée voit son substrat passer de bitume à pavé. Il a été discuté que ce changement n'était pas important du fait que ni l'un ni l'autre ne favorise le ré-envol des poussières à première vue.

Ce tronçon est beaucoup plus ouvert du fait de la présence d'un champ de maïs étendu sur la partie gauche (château dans le dos). Cette ouverture semble favoriser le développement des corticoles.

Les engrais utilisés sur le champ sont également à prendre en compte.

Cette comparaison vise ici à voir la différence entre un milieu de bordure forestière à un milieu à bordure ouverte de champ.



FIGURE 42 (VUE DEPUIS LA ZONE CHAMP, VERS ZONE FORET)



Figure 43 ALLEE DE BAILLY

Allée de Bailly

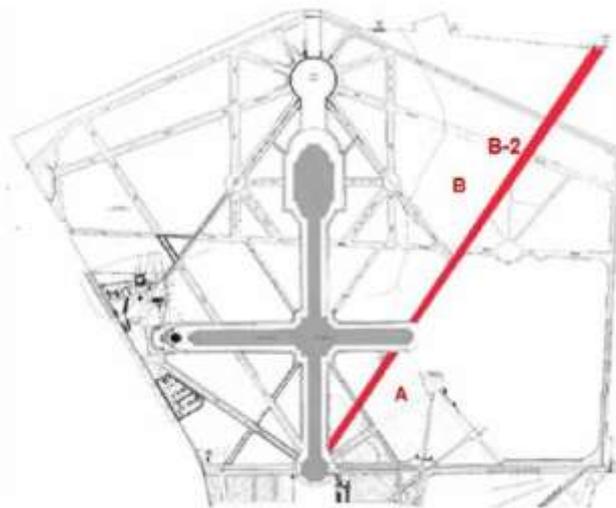


Figure 44 situation d'allée, tronçon B



Figure 45 ZONE CHAMP

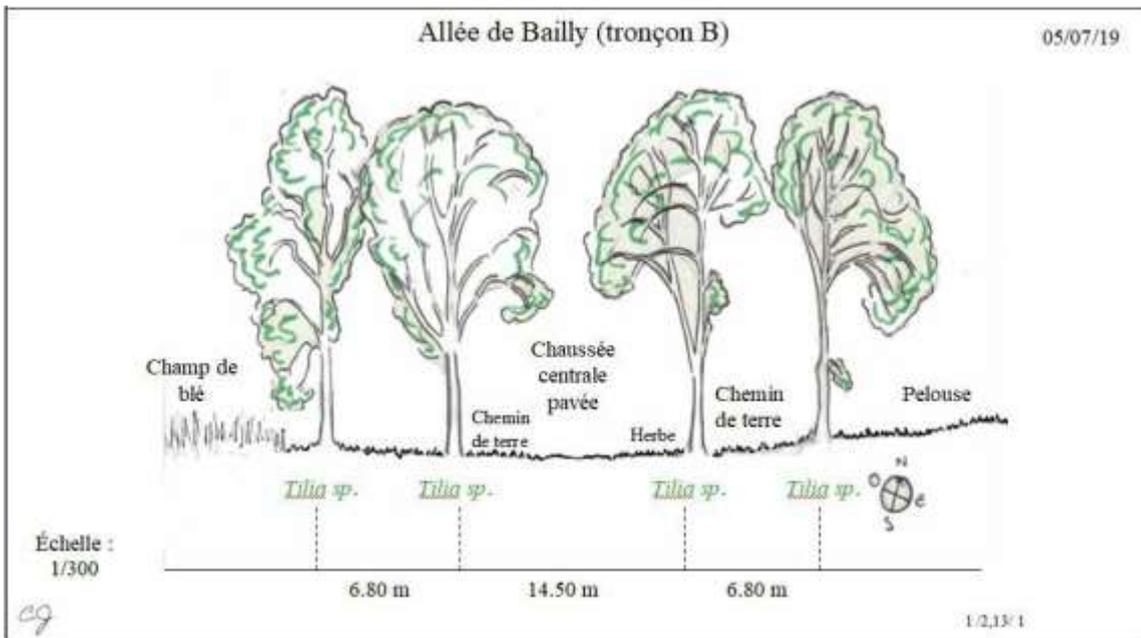


Figure 46 coupe de l'allée

- Allée des Trianons

Située légèrement en contre haut de la route sur sa partie la plus proche de la grille, la zone plantée d'arbre de l'allée des trianons passe en contre bas de cette dernière au fur et à mesure qu'on la suit. Bordée d'une pâture à ovins sur sa partie extérieure droite (grille dans le dos), sa partie centrale est une route goudronnée fortement fréquentée par les voitures. La partie gauche de l'allée est bordée par une zone boisée. Plus on s'éloigne de la grille, plus la pression canine est faible.

Les arbres y sont plantés sur une terre formant une butte.



FIGURE 47 ZONE PROCHE DES GRILLES D'ENTREE

- Boulevard de la Reine hors du parc (grille)

Dans cette zone, les phorophytes sont plantés en pleine terre. Un trottoir qui les sépare de la route est occupé en partie par les voitures garées. Les pressions des hommes et des chiens y est plus forte (nous sommes sur la voie publique)

Comparer ces deux zones va nous permettre de tester la différence entre une zone publique où les voitures se garent, dans un environnement relativement fermé (entouré de deux murs) à une zone où, même si la pression reste élevée sur les arbres, la situation est plus ouverte (présence d'un champ, d'une zone forestière...) hors de la voie publique.



Figure 48 zone hors du parc (72)

- Allée des Trianons

L'allée des trianons (ou du grand trianon) est une allée fréquentée à pied par de nombreux touristes visitant le château. Les arbres y sont plantés en quadruple et sont relativement fins (50cm de diamètre environ). Le sol où ils sont plantés est une terre sableuse pulvérulente. La route au centre de l'allée est pavée latéralement et en bitume au centre route y est large.



FIGURE 49 ZONE DE L'ALLEE DES TRIANONS

Figure 50 allée des trianons

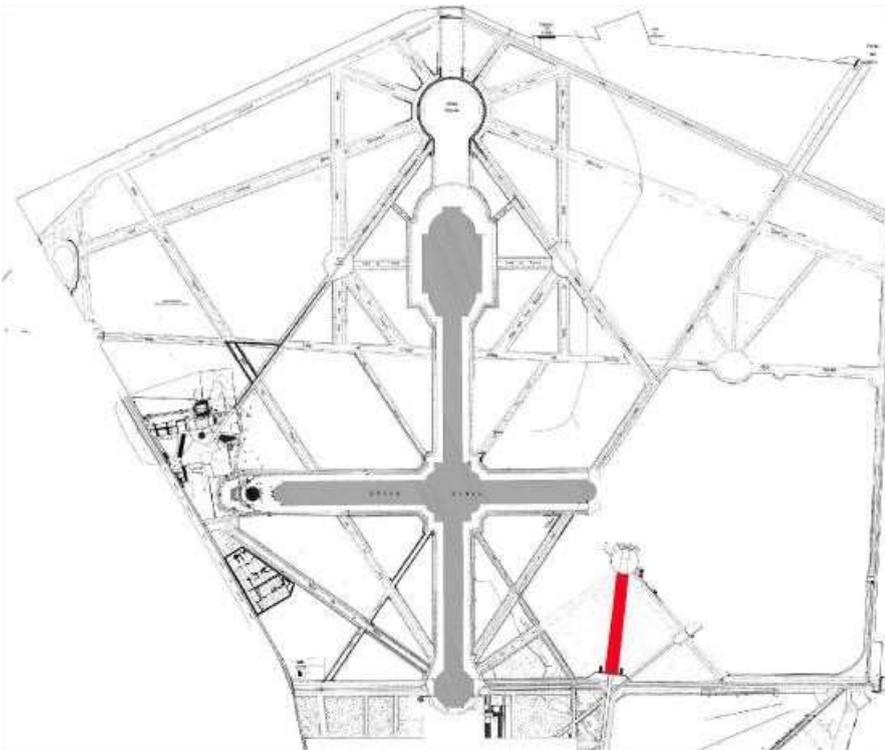


Figure 51 situation de l'allée des trianons

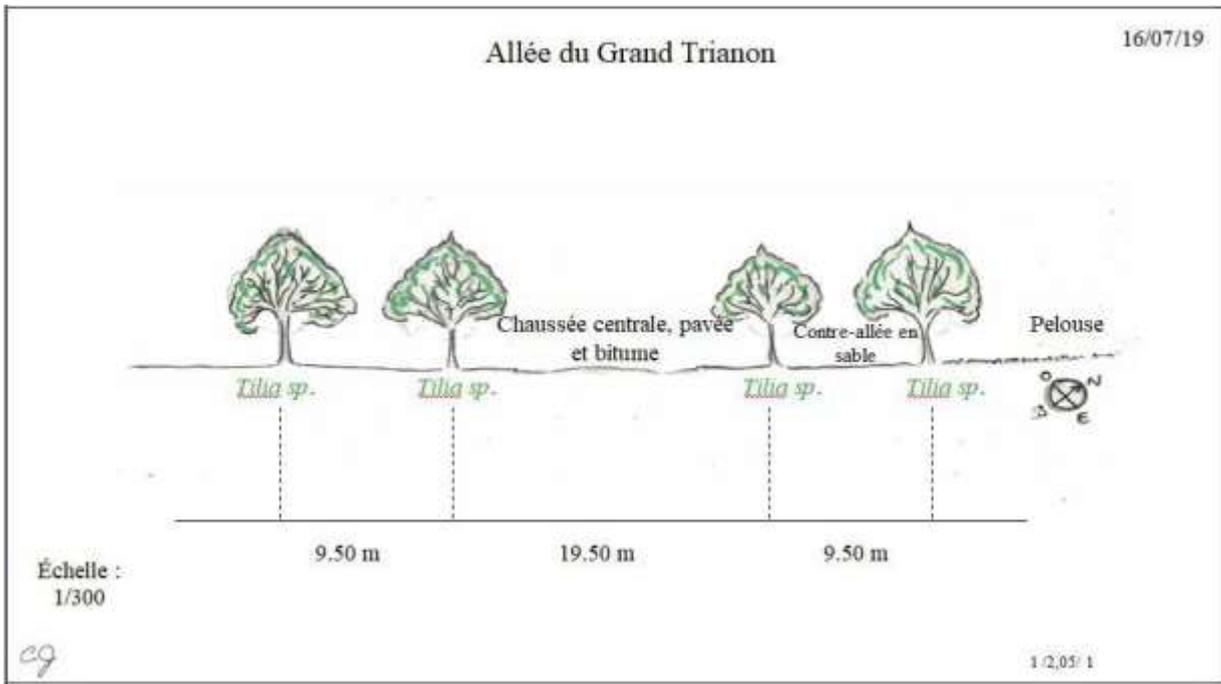


Figure 52 coupe de la situation de l'allée du grand trianon (ou des trianons)

● ZONE GRILLE DES MATELOTS

Cette zone juste devant l'allée des trianons est constituée de phorophytes minces, soumis au même passage de touristes, mais dans un carré d'herbe tondue.

La route qui longe cette partie est située à une dizaine de mètres environs des phorophytes. On y observe à l'œil nu moins de poussière que de l'autre côté de la grille qui fait office de frontière avec la zone 10.

On pourra ici comparer l'influence du pulvérulent vs celle de l'herbe sur des phorophytes de même taille et soumis au même passage.



FIGURE 53 ZONE GRILLE DES MATELOTS

3. Zones non retenues

- Allée du Manège

L'allée du manège présente un sol en bitume sur sa partie la plus éloignée du grand canal. Ce bitume attendance à se faire recouvrir d'herbe au fur et à mesure qu'on se rapproche de l'eau.

Les arbres y ont ici un port libre, et les bryophytes recouvrent le bas des troncs par endroit. La présence de lierre est signalée, visiblement certains arrachés ou traités il y a peu. Les phorophytes y sont d'une taille moyenne.

Cette zone n'a pas été retenue du fait du trop petit nombre de lichens sur les phorophytes et de la forte présence de lierre cette zone est un exemple du type de zone que nous avons décidé de rejete



FIGURE 54 ZONE ALLEE DU MANEGE

● ZONE ALLEE DES FILLES D'HONNEUR

La zone est ici similaire à celle de l'allée du manège, à l'exception du sol central, non plus en bitume mais en terre plutôt fine, qui a tendance une fois sèche à s'envoler.

De même que la zone précédente, cette zone n'a pas été retenue du fait du trop faible nombre de lichens sur les phorophytes. Comme la zone précédente, cet exemple bien que retenu dans notre étude préliminaire n'a pas été sélectionné lors de notre venue sur le terrain.

FIGURE 55 ALLEE DES FILLES D'HONNEUR



- Quinconces du grand trianon (ZONE non retenue)

Cette zone présente un substrat pulvérulent, au pied des arbres comme sur le reste de la zone.

Les phorophytes y sont plantés en quinconces et leur port est laissé libre.

Cette zone n'a pas été retenue à cause de l'apparition de zones très humides par intermittence et de l'absence de replantation de phorophytes dans la zone. C'est un troisième exemple qui illustre une autre raison du rejet de zone. Ici c'est la présence d'eau en grande quantité.



FIGURE 56 ZONE PROCHE DU GRAND TRIANON

nom	page corrigée	page	type d'allée	longueur	nombre d'arbres	types d'alignement	essence	port	hauteur	hauteur sous couronne	date de plantation	trame	contre allée	sol central	sol central, zone plantée	sol CA	sol extérieur	proximité	axe principal
Allée de Bailly, tronçon A	12	67	anciennement taillée, passage en port semilibre	570	394	quadruple	tilia sp	semi libre	27	5	1960	5,6	oui	bitume	pelouse	pelouse	pelouse	lisière boisée	sud, sud est
Allée du Grand Trianon	66	121	Les allées récemment replantées, traitées en portsemi libre depuis leur replantation	340	234	quadruple	tilia sp	port semi libre	8	2,7	2000	5,8	oui	bitume	sable	sable	pelouse	?	nord ouest
Allée du Petit Trianon	63	118	Les allées récemment replantées, traitées en portsemi libre depuis leur replantation	190	131	quadruple	populus nigra	port libre	20	?	2000	3,8	oui	pavé	sable	pelouse	pelouse	?	nord, nord ouest
Le pourtour du Grand Canal	46	101	anciennement taillée, passage en port semilibre	5200	1886	double	tilia sp	semi libre	27	2	1950	5,7	non	bitume	terre	/	pelouse	grand canal	/
Allée de Fontenay B C	21	76	anciennement taillée, passage en port semilibre	1070	764	quadruple	tilia sp	semi libre	27	7	1940	4,5	oui	pelouse	herbes hautes	pelouse	pelouse	lisière boisée	?
Allée de StCyr A	53	108	Les allées fortement regarnies	500	339	quadruple	tilia sp	semi libre	27	5,5	1940	5,3	oui	pelouse	pelouse	pelouse	pelouse	lisière boisée, regarnis,	est, nord est
Allée des deux Trianons	61	116	Les allées récemment replantées, traitées en portsemi libre depuis leur replantation	450	294	quadruple	tilia sp	libre	10	3,2	2000	5,5	oui	gravier	sable	gravier sable	gravier sable	café angelina, pelouse	ouest
Le pourtour du Grand Canal	46	101	anciennement taillée, passage en port semilibre	5200	1886	double	tilia sp	semi libre	27	2	1950	5,7	non	bitume	terre	/	pelouse	grand canal	/

TABLEAU 3 CARACTERISTIQUE DES ZONES ETUDIEES

4. Comparaison aux dernières études faites dans le parc

Bouly de Lesdain(63) en 1921 établi la liste suivante

- *Xanthoria parietina*
- *Physcia adsensens*
- *Parmelia sulcata*
- *Hypogymnia physodes*
- *Pertusia amara*
- *Diploicia canescens*
- *Evernia prunastri*
- *Lepraria incana*

Cette liste est définie selon la méthode de déambulation aléatoire propre à son époque. Toutefois, certaines espèces comme *Evernia prunastri* peuvent traduire une qualité de l'air qu'on ne retrouve pas dans les relevés de 1993, mais qui réapparaissent dans les relevés en faible fréquence, et dans les endroits les moins fréquentés du parc (petit trianon), dans les relevés effectués lors de nos relevés.

Bien que non exhaustive cette liste est à mettre en regard des indices de Wirth, et permet d'avoir une idée de l'eutrophisation du milieu de l'époque.

genre	esp	lumière	acide	eutrophisation
Physcia	adsensens	7	7	8
Xanthoria	parietina	7	7	8
Parmelia	sulcata	7	5	7
Hypogymnia	physodes	7	3	3
Pertusaria	amara	6	3	2
Diploicia	canescens	6	8	6
Evernia	prunastri	7	3	4
Lepraria	incana	4	3	5

5. Résultats

Description globale du jeu de données

- Description quantitative

- 5670 lichens observés
- 34 taxons différents
- En moyenne 692 lichens par station (soit environ 230 lichens par arbre et 4 espèces de lichens par case)

- Liste générale des espèces

- *Xanthoria Parietina*
- *Physcia Adsensens*
- *Parmelia Sulcata*
- *Hypogymnia Physodes*
- *Pertusia Amara*
- *Diploicia Canescens*
- *Evernia Prunastri*
- *Lepraria Incana*
- *Physcia Tenella*
- *Phlyctis Argenta*
- *Phaeophyscia Orbicularis*
- *Lecanora Chlarotera*
- *Pertusaria Albesens*
- *Parmotrema Perlatum*
- *Punctelia Subrudecta*
- *Hypogymnia Tubulosa*
- *Physconia Grisea*
- *Pleurosticta Acetabulum*
- *Melanelixia Glabra*

- *Cetrelia Olivetorum*
- *Flavoparmelia Caperata*
- *Hyperphyscia Adglutinata*
- *Caloplaca Cerina*
- *Amandina Punctata*
- *Xanthoria Candelaria*
- *Candelaria Concolor*
- *Candelariella Xanthostigma*
- *Chrysotrix Candelaris*
- *Lecanora Expallens*
- *Ochrolecia Androgymnia*
- *Pseudoevernia Furfuracea*
- *Parmeliopsis Ambigosa*
- *Ramalina Farinacea*

Analyse qualitative du cortège

On y retrouve typiquement un groupe de lichens nitrophiles dominé par les physciacées (*P. adsendens* est l'espèce dominante, présente dans 60% des relevés).

Un second groupe est très ubiquiste et regroupe notamment *P. sulcata*, et *P. subrudecta*.

Le troisième correspond typiquement aux espèces du *Parmelietum caperato revolutae* (espèces plutôt acidophiles, poléophobes... climatiques chez nous). Celles-ci sont présentes assez souvent dans les relevés mais on aperçoit bien que ces espèces soient plus présentes et abondantes lorsque les espèces nitrophiles sont moins présentes (voire absentes pour quelques relevés).

Il existe des relevés « de transition » entre la domination des espèces nitrophiles et celles du *Parmelietum caperato-revolutae*.

Indice de biodiversité de Shannon

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \log_2(p_i)$$

p_i = l'abondance proportionnelle ou pourcentage d'abondance d'une espèce présente ($p_i = n_i/N$).

n_i = le nombre d'individus dénombrés pour une espèce présente.

N = le nombre total d'individus dénombrés, toute espèce confondue.

S = le nombre total ou cardinal de la liste d'espèces présentes.

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité spécifique d'un peuplement étudié. La diversité spécifique caractérise le nombre plus ou moins grand d'espèces présentes dans un peuplement. S'il est homogène (constitué d'une seule et même espèce), alors l'indice $H' = 0$. Plus nous sommes en présence d'espèces différentes, plus sa valeur augmente de façon logarithmique(73)

Dans notre étude, cet indice varie de 2,2 (le plus bas) à 3. Il est fréquent de trouver des indices variant de 1 à 5 dans la littérature.

Toutefois, il faut souligner que cet indice permet des comparaisons entre différents sites d'un même lieu d'étude, mais qu'il est délicat de le comparer avec d'autres indices issus de d'autres lieux.

Description par station du jeu de données

- Grille des matelots, côté herbe

tableau de fréquence par taxon

Tableau 4 tableau de fréquence par taxon grille des matelots

<i>Physcia</i>	<i>adscendens</i>		127
<i>Physcia</i>	<i>tenella</i>		87
<i>Lecanora</i>	<i>chlarotera</i>		85
<i>Xanthoria</i>	<i>parietina</i>		78
<i>Amandinea</i>	<i>punctata</i>		74
<i>Parmelia</i>	<i>sulcata</i>		66
PN	<i>(pyrenula?)</i>		66
<i>Punctelia</i>	<i>subrudecta</i>		62
<i>Pertusaria</i>	<i>amara</i>		61
<i>Hyperphyscia</i>	<i>adglutinata</i>		39
<i>Phaeophyscia</i>	<i>orbicularis</i>		31
<i>Melanelixia</i>	<i>glabra</i>		14
<i>Candelaria</i>	<i>concolor</i>		14
<i>Caloplaca</i>	<i>cerina</i>		12
<i>Lepraria</i>	<i>incana</i>		5
<i>Evernia</i>	<i>prunastri</i>		4
<i>Cetrelia</i>	<i>olivetorum</i>		3
<i>Flavoparmelia</i>	<i>caperata</i>		3

Indices de Wirth

- Acidité 5,37
 - (max sur site 6,41) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,56) (min théorique 1)
- Eutrophisation 6,04
 - (max sur site 7,18) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,76) (min théorique 1)
- Indice de biodiversité 3
 - (min sur site 2,2)
 - (max sur site 3)

Analyse lichénosociologique

La communauté lichénique sur ce groupe de phorophytes appartient au *Physcietalia adscendentis* selon Barkman (1958) il rassemble des communautés photophiles et héliophiles, eutrophes, neutrophiles à basophile fortement nitrophile ou nitrotolérante

Les espèces caractéristiques retrouvées sur le site sont *l'Amandinea Punctata*, *le Xanthoria parietina*, *le Physcia adscendens*, *Physcia Tenella*.

Barkman décrit au sein de du *Physcietalia Adscendentis* *l'Amandinea Punctata* présent ici (74 relevés)

Il décrit ce groupement comme photophile, plus ou moins xérophile, de très acidophile à neutrophile, nitrotolérant et fortement toxitolérant.

Drehwal insiste sur la forte tolérance de ce groupement à la pollution atmosphérique et même aux pesticides.

- Grille des matelots côté trianon

tableau de fréquence par taxon

Tableau 5 tableau de fréquence par taxon cote trianon

<i>Physcia</i>	<i>adscendens</i>	113
<i>Physcia</i>	<i>tenella</i>	
<i>Punctelia</i>	<i>subrudecta</i>	
<i>Pertusaria</i>	<i>amara</i>	
<i>Lecanora</i>	<i>chlarotera</i>	
<i>Xanthoria</i>	<i>parietina</i>	
<i>Hyperphyscia</i>	<i>adglutinata</i>	
<i>Parmelia</i>	<i>sulcata</i>	
<i>Amandinea</i>	<i>punctata</i>	
<i>Phaeophyscia</i>	<i>orbicular</i>	
<i>hypogymnia</i>	<i>physo</i>	
<i>hypogymnia</i>	<i>tub</i>	
<i>flavoparmelia</i>	<i>ca</i>	
<i>candelariella</i>		
<i>Melanelixia</i>		
<i>Evernia</i>		
<i>Candelari</i>		
<i>pleuros</i>		
<i>Calop</i>		
<i>PN</i>		
<i>x</i>		

Indices de wirth

- Acidité 5,64
 - (max sur site 6,41) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,56) (min théorique 1)
- Eutrophisation 6,15
 - max sur site 7,18 max théorique 9
 - min sur site 4,76 et min théorique 1
- Indice de biodiversité 2,69
 - min sur site 2,2
 - max sur site 3

Analyse lichénosociologique

On retrouve ici sensiblement la même alliance que précédemment, c'est-à-dire *le Physciotalia adscenentis* selon Barkman (1958).

Comme décrit çà dessus, c'est un groupement photophile, plus ou moins xérophile, de très acidophile à neutrophile, nitrotolérant et fortement toxitolérant.

Toutefois, on note une apparition d'*Hypogymnia Physodes* ainsi que d'*Hypogymnia Tubulosa* (considérés comme peu acidophiles et assez peu nitrotolérant par Wirth) et une présence moindre d'*Amandina Punctata*, de *Lecanora Chlarotera* et de *Xanthoria Parietina* (considérés à l'inverse comme acidophile et nitrotolérant par Wirth)

La comparaison des deux communautés de cette première paire de stations permet de mettre en lumière une continuité des communautés malgré ces quelques différences notables.

Ces Variations, à la marge, dans la composition des relevés suggèrent un changement dans les conditions du milieu. Mais sa significativité est à discuter.

Nous pouvons tout de même noter que la grille sépare deux milieux, dont l'un (côté herbe) est laissé ouvert aux chiens et est sur une pelouse alors que l'autre leur interdit l'accès et voit les poussières du revêtement de son allée se plaquer contre l'écorce des arbres.

Tableau 6 REPARTITION DES TAXONS (POURCENTAGE) ET DIFFERENCE ENTRE LES STATIONS

	grille des matelots coté herbe	grille des matelots (côté sable) (allée des trianons)	Delta
PN	7,94	0,14	-7,80
<i>Arnandina punctata</i>	8,90	4,49	-4,42
<i>Lecanora chlorotera</i>	10,23	7,57	-2,66
<i>Xanthoria Parietina</i>	9,39	7,15	-2,23
<i>Parmelia sulcata</i>	7,94	5,75	-2,19
<i>Caloplaca cerina</i>	1,44	0,70	-0,74
<i>Lepraria incana</i>	0,60	0,00	-0,60
<i>Cetrelia olivetorum</i>	0,36	0,00	-0,36
<i>Parmotrema perlatum</i>	0,00	0,00	0,00
<i>physconia grisea</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Pertusaria albesens</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Diploicia canescens</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Chrysothrix candelaris</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Lecanora expallens</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Phlyctis argena</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Ochrolechia androgyna</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Ramalina farinacea</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Candelaria concolor</i>	1,68	1,82	0,14
<i>Xanthoria candelaria</i>	0,00	0,14	0,14
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	3,73	3,93	0,20
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	0,00	0,28	0,28
<i>Melanelixia glabra</i>	1,68	2,24	0,56
<i>Physcia adscendens</i>	15,28	15,85	0,57
<i>Pertusaria amara</i>	7,34	7,99	0,65
<i>Physcia tenella</i>	10,47	11,22	0,75
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	4,69	6,17	1,48
<i>Evernia prunastri</i>	0,48	2,24	1,76
<i>Flavoparmelia caperata</i>	0,36	2,52	2,16
<i>Candelaria xanthostigma</i>	0,00	2,52	2,52
<i>Punctelia subrudecta</i>	7,46	10,24	2,78
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	0,00	3,37	3,37
<i>Hypogymnia physodes</i>	0,00	3,65	3,65

Ce tableau est construit selon la forme suivante. Pour chaque station, on calcule le nombre total de relevés effectués, puis il est calculé la proportion que chaque espèce représente dans cet ensemble. Une différence de répartition est ensuite calculée entre les deux stations et triée selon un gradient d'importance de ces différences. L'objectif est d'ici mettre en lumière les populations différentes et les semblables dans les paires de stations observées.

- allée de la Reine (côté parc) N° Site

Tableau 7 tableau de fréquence des espèces allée de la reine

<i>Physcia tenella</i>	135
<i>Physcia adsendens</i>	134
<i>Xanthoria Parietina</i>	88
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	76
<i>Punctelia subrudecta</i>	70
<i>Lepraria incana</i>	64
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	59
<i>Physconia grisea</i>	42
<i>Parmelia sulcata</i>	36
<i>Cetrelia olivetorum</i>	27
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	15
<i>Melanelixa glabra</i>	14
<i>Flavoparmelia caperata</i>	13
<i>Pertusia amara</i>	13
<i>Caloplaca cerina</i>	10
<i>Hypogymnia physodes</i>	7
<i>Amandinea punctata</i>	5
<i>Candelaria concolor</i>	4
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	3

Hypogymnia tubulosa

Indices de Wirth

- Acidité 5,88
 - (max sur site 6,41) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,56) (min théorique 1)
- Eutrophisation 6,81
 - (max sur site 7,18) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,76) (min théorique 1)
- Indice de biodiversité 2,5
 - (min sur site 2,2)
 - (max sur site 3)

Analyse lichénosociologique

On retrouve ici une dominante de petits foliacés (*Physcia Tenella* et *Physcia adsendens*) et une dominante de *Xanthoria Parietina*

On reste dans le groupement hémi nitrophile à nitrophile sur écorces plus ou moins rugueuses

Toutefois, la forte présence de *Pleurosticta Acetabulum* et de *Punctelia Subrudecta*, les quelques *Hypogymnia Physodes* et de *Pertusaria* permet de rapprocher cette communauté du *Pleurostictenion acetabuli*.

Sur le plan écologique, on regroupe ici des communautés acidophiles et d'une forte nitrophilie.

- Allée (boulevard) de la Reine (hors parc)

Tableau 8 tableau de fréquence d'espèce allée boulevard de la reine

<i>Xanthoria candalaria</i>	132
<i>Candelaria concolor</i>	72
<i>Physconia grisea</i>	71
<i>Lepraria incana</i>	67
<i>Punctelia subrudecta</i>	55
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	25
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	23
<i>Caloplaca cerina</i>	20
<i>Physcia adscendens</i>	19
<i>Physcia tenella</i>	16
<i>Pertusaria amara</i>	12
<i>Xanthoria Parietina</i>	9
<i>Amandinea punctata</i>	5
<i>Parmelia sulcata</i>	3

Indices de Wirth

- Acidité 5,77
 - (max sur site 6,41) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,56) (min théorique 1)
- Eutrophisation 6,94
 - (max sur site 7,18) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,76) (min théorique 1)
- Indice de biodiversité 2,2
 - (min sur site 2,2) (max sur site 3)

Analyse lichénosociologique

Le *Xanthorietum candelariae* décrit par Barkman en 1958 est présent ici (espèce caractéristiques présentes : *Xanthoria Candelaria*, *Xanthoria Parietina*, *Physconia Grisea*) c'est un groupement héliophile, xérophile modérément, acidophile et toxitolérant. Il se retrouve sur des arbres isolés et ventés en bord de route, ce qui est le cas ici.

Il se caractérise par une forte nitrophilie, voir une ammonium dépendance pour certains auteurs. Cette caractéristique est à mettre en regard du nombre important de chiens qui sont promenés à l'entrée de ce parc, mais également une grande fréquentation humaine (allée assez étroite qui concentre une grande partie des entrées du parc, fréquentée aussi les jours de fermeture) et des voitures qui y passent.

L'analyse des deux cortèges de ces stations nous évoque qu'à quelques mètres de distances, on passe d'une station à petits foliacés faiblement nitrophiles à une station hors du parc caractérisée par la présence d'un groupement beaucoup plus toxicotolérant

Tableau 9 REPARTITION DES TAXONS (POURCENTAGE) ET DIFFERENCE ENTRE LES STATIONS

	allé de la reine coté parc allée des trianons	boulevard de la reine hors parc		dif
<i>physcia tenella</i>	16,56	3,02		-13,54
<i>Physcia adscendens</i>	16,44	3,59		-12,85
<i>Xanthoria Parietina</i>	10,80	1,70		-9,10
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	9,33	4,73		-4,60
<i>Parmelia sulcata</i>	4,42	0,57		-3,85
<i>Cetrelia olivetorum</i>	3,31	0,00		-3,31
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	7,24	4,35		-2,89
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	1,84	0,00		-1,84
<i>Melanelixia glabra</i>	1,72	0,00		-1,72
<i>Flavoparmelia caperata</i>	1,60	0,00		-1,60
<i>Hypogymnia physodes</i>	0,86	0,00		-0,86
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	0,37	0,00		-0,37
<i>Parmotrema perlatum</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Lecanora chlarotera</i>	0,00	0,00		0,00
<i>PN (pyrenula ?)</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Pertusaria albescens</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Candelariella xanthostigma</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Diploicia canescens</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Evernia prunastri</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Chrysothrix candelaris</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Lecanora expallens</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Phlyctis argena</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Ochrolechia androgyna</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Ramalina farinacea</i>	0,00	0,00		0,00
<i>Amandinea punctata</i>	0,61	0,95		0,33
<i>Pertusia amara</i>	1,60	2,27		0,67
<i>Punctelia subrudecta</i>	8,59	10,40		1,81
<i>Caloplaca cerina</i>	1,23	3,78		2,55
<i>Lepraria incana</i>	7,85	12,67		4,81
<i>Physconia grisea</i>	5,15	13,42		8,27
<i>Candelaria concolor</i>	0,49	13,61		13,12
<i>Xanthoria candelaria</i>	0,00	24,95		24,95

- Allée de baily côté champ

Tableau 10 tableau de fréquence des espèces allée de Bailly cote champ

<i>Hyperphyscia adglutinata</i>
<i>Physcia adscendens</i>
<i>Physcia tenella</i>
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>
<i>Xanthoria Parietina</i>
<i>Lecanora chlarotera</i>
<i>Parmelia sulcata</i>
<i>Lepraria incana</i>
<i>Diploicia canescens</i>
<i>Physconia grisea</i>
<i>Amandinea punctata</i>
<i>Punctelia subrudecta</i>
<i>Pertusaria amara</i>
<i>Caloplaca cerina</i>
<i>Flavoparmelia caperata</i>
<i>Pleurosticta acetabulum</i>
<i>Candelaria concolor</i>

Indices de Wirth

- Acidité 6,41
 - (max sur site 6,41) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,56) (min théorique 1)
- Eutrophisation 7,18
 - (max sur site 7,18) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,76) (min théorique 1)
- Indice de biodiversité 2,5
 - (min sur site 2,2) (max sur site 3)

Analyse lichénosociologique

On retrouve ici une association du *Xanthorion* à lichens à petites taille à aspect presque crustacés, l'hyperphyscietum *adglutinatae* décrite par Barkman en 1958 et confirmée par Roux et al en 2008. James et Al en 1977 en décrit une variante qui semble se rapprocher de notre groupement, à *Diploicia Canescens*. Ils ont observé cette variante sur des écorces hypereutrophisée (notamment avec un fort développement de *Phaeophyscia Orbicularis*) ce qui est corrélé ici par l'analyse fournie par les indices de Wirth.

Toutefois, la présence conjointe de *Amandinea Punctata* et du *Diploicia Canescens* est décrite par James et Al (1977) comme un groupement très tolérant à la pollution atmosphérique et même aux pesticides.

- Allée bord du canal

Tableau 11 fréquence des espèces allée bord du canal

<i>Physcia tenella</i>	96
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	
<i>Physcia adscendens</i>	
<i>Parmotrema perlatum</i>	
<i>Xanthoria Parietina</i>	
<i>Physconia grisea</i>	
<i>Parmelia sulcata</i>	
<i>Punctelia subrudecta</i>	
<i>Lepraria incana</i>	
<i>Lecanora expallens</i>	
<i>Cetrelia olivetorum</i>	
<i>Evernia prunastri</i>	
<i>Flavoparmelia caperata</i>	
<i>Caloplaca cerina</i>	
<i>Diploicia canescens</i>	
<i>Amandinea punctata</i>	
<i>Pertusia amara</i>	
<i>Phlyctis argena</i>	
<i>Hypogymnia physodes</i>	
<i>Melanelixia glabra</i>	
<i>Pertusaria albescens</i>	
<i>Chrysothrix candelaris</i>	

Indices de Wirth

- Acidité 5,80
 - (max sur site 6,41) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,56) (min théorique 1)
- Eutrophisation 6,64
 - (max sur site 7,18) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,76) (min théorique 1)
- Indice de biodiversité 2,7
 - (min sur site 2,2) (max sur site 3)

Analyse lichénosociologique

On retrouve ici un groupement à petit foliacés allant vers le *Xanthorion*, mais dans une variante à *Parmotrema Perlatum* décrite par Abbassi-Maaf et Roux en 1987.

Cette variante est considérée par ses auteurs comme une transition vers des groupements à plus grands foliacés du *PARMOTREMION PERLATI*

Il est intéressant de noter que le *Parmotrema Perlatum* retrouvé ici en abondance, est considéré également comme indicateur d'hygrophilie et retrouvé en milieu forestier ouvert.

Cette description correspond à la physionomie du milieu dans lequel les relevés ont été réalisés.

On peut noter ici en comparaison de ces deux zones, que l'une (le bord du canal) est constituée de communauté de lichens plutôt toxicophobie (*Evernia Prunastri*, *Parmotrema Perlatum*) grands foliacés et fruticuleux. Le *Parmotrema Perlatum* et le *Cetrelia Olivratrum* sont par ailleurs des espèces hydrophiles, ce qui est cohérent avec la situation de la station, alors que l'autre station est plus riche en lichens crustacés (*Lecanora Chlorotera*) et en foliacés très adhérents au substrats comme *Hyperphyscia Adglutinata* qui sont des espèces nitrophiles ainsi qu'en *Amandina Punctata* et *Diploicia Canescens* qui sont décrit comme) comme un groupement très tolérant à la pollution atmosphérique et même aux pesticides.

Tableau 12 REPARTITION DES TAXONS (POURCENTAGE) ET DIFFERENCE ENTRE LES STATIONS

	allée de bailly coté champs	bord du canal	dif
<i>Lecanora chlarotera</i>	6,79	0,00	-6,79
<i>Physcia adscendens</i>	14,92	10,00	-4,92
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	15,21	11,11	-4,10
<i>Xanthoria Parietina</i>	10,49	7,78	-2,71
<i>Diploicia canescens</i>	3,25	1,11	-2,14
<i>Amandinea punctata</i>	2,51	0,97	-1,54
<i>Pertusaria amara</i>	2,22	0,97	-1,24
<i>Physcia tenella</i>	14,48	13,33	-1,14
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	0,74	0,00	-0,74
<i>Candelaria concolor</i>	0,59	0,00	-0,59
<i>Lepraria incana</i>	4,14	3,61	-0,52
<i>Caloplaca cerina</i>	1,48	1,39	-0,09
<i>Parmelia sulcata</i>	5,91	5,83	-0,08
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	0,00	0,00	0,00
<i>PN (pyrenela?)</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Xanthoria candelaria</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Candelariella xanthostigm</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Ochrolechia androgyna</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Ramalina farinacea</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Pertusaria albescens</i>	0,00	0,14	0,14
<i>Chrysothrix candelaris</i>	0,00	0,14	0,14
<i>hypogymnia physodes</i>	0,00	0,28	0,28
<i>Melanelixia glabra</i>	0,00	0,28	0,28
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	11,23	11,67	0,44
<i>Flavoparmelia caperata</i>	1,03	1,94	0,91
<i>Phlyctis argena</i>	0,00	0,97	0,97
<i>Punctelia subrudecta</i>	2,36	4,31	1,94
<i>Cetrelia olivetorum</i>	0,00	3,06	3,06
<i>Evernia prunastri</i>	0,00	3,06	3,06
<i>Lecanora expallens</i>	0,00	3,33	3,33
<i>Physconia grisea</i>	2,66	6,25	3,59
<i>Parmotrema perlatum</i>	0,00	8,47	8,47

- pavillon Français

Tableau 13 tableau de fréquences des espèces pavillon français

<i>Ochrolechia androgyna</i>	83
<i>Parmelia sulcata</i>	78
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	69
<i>Punctelia subrudecta</i>	56
<i>Hypogymnia physodes</i>	54
<i>Parmotrema perlatum</i>	46
<i>Pertusia amara</i>	46
<i>Evernia prunastri</i>	45
<i>Flavoparmelia caperata</i>	39
<i>Physcia tenella</i>	34
<i>Physcia adscendens</i>	30
<i>Xanthoria Parietina</i>	18
<i>Xanthoria candelaria</i>	15
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	14
<i>Lecanora chlarotera</i>	13
<i>Melanelixia glabra</i>	11
<i>Physconia grisea</i>	9
<i>Pseudoevernia furfuracea</i>	8
<i>Lepraria incana</i>	4
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	3
<i>Pertusaria albescens</i>	3
<i>Cetrelia olivetorum</i>	2
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	2
<i>Parmeliopsis ambigosa</i>	2
<i>Ramalina farinacea</i>	2
<i>Caloplaca cerina</i>	1

Indices de Wirth

- Acidité 4,56
 - (max sur site 6,41) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,56) (min théorique 1)
- Eutrophisation 4,76
 - (max sur site 7,18) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,76) (min théorique 1)
- Indice de biodiversité 2,8
 - (min sur site 2,2) (max sur site 3)

Analyse lichénosociologique

(74) La présence dominante de *Ochrolecia*, *Hypogymnia Physodes*, *Parmelia Sulcata*, *Ochrolecia Androgymnia*, indique la présence d'un groupement caractéristique de *Ochrolecia Androgymnia*.

C'est un groupement acidophile, décrit par Francis Rose⁴¹ comme acidophile et des forêts denses. Il recherche d'après Chantal Van Haluwyn une humidité atmosphérique quasi constante.

De plus, la présence de *Hypogymnia Physodes*, et de *Evernia Prunastri* (caractéristique de la classe de *Hypogymnia Physodes*) vient confirmer l'affinité pour l'acidité des écorces des lichens de cette station.

La présence de *Parmotrema Perlatum* en grand nombre est également à souligner, il est acidophile, a un habitat caractérisé par une atmosphère moyennement humide à humide est toxiphobe et non nitrophile.

Ce cortège nous indique donc une station où les phorophytes ont une écorce acide, et où l'atmosphère est humide, mais où la pollution et les apports en azote limités

- petit trianon

Tableau 14 tableau de fréquences des espèces du petit trianon

Lep	Leparia cinerea	46
Xan	Xanthoparia parietina	
Pur	Purtetella sublecta	
Per	Perisporina amara	
Par	Parrotia parvula	
Par	Parasporia nigrosinosa	
Ple	Plectroscia rotundata	
Chr	Chrysothrix dendrolaris	
Phy	Phycia grisea	
Cal	Caloclella cerina	
Lec	Lecanora chloprotera	
Hyp	Hypoclella adglutinata	
Pho	Phaeophyscia orbicularis	
Fla	Flavoparmelia caperata	
Can	Calicidia xanthostig	
Am	Amelina punctat	
Hyp	Hypogymnia tubu	
Xan	Xanthoria cand	
Eve	Evernia prun	
Me	Melanelix	
Can	Candela	
Hy	Hypo	
P	Per	
P	P	

Indices de Wirth

- Acidité 5,12
 - (max sur site 6,41) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,56) (min théorique 1)
- Eutrophisation 5,63
 - (max sur site 7,18) (max théorique 9)
 - (min sur site 4,76) (min théorique 1)
- Indice de biodiversité 3
 - (min sur site 2,2) (max sur site 3)

Analyse lichénosociologique

On retrouve ici aussi une dominante d'*Ochrolecia Androgymnia*, suivi du *Parmelia Sulcata* caractéristique des zones humides et peu polluées.

Toutefois, la présence de *Lepraria Incana* en grand nombre semble nous indiquer une zone plus sombre et moins exposée au soleil, ce qui était le cas de la station (plus « enfermée » bordée de grands arbres entourant un bassin)

Un groupement de *Physcia Adscendens* et *Tenella* plus important que dans la station précédente semble nous rapprocher des groupements à *Physcietalia Adscendentis* plus nitrophiles.

La différence entre ces deux stations semble porter au vu des groupements présent sur une expositions plus forte pour le petit trianon au soleil et sur une ouverture plus forte du milieu.

Le couple de station reste globalement humide, et les écorces acides, une communication orale de Mr Peignart, jardinier en chef du parc, nous indique qu'il y a des résurgences d'eau par endroit.

Il est à noter que cette zone va connaître un changement de sols prochain.

Tableau 15 REPARTITION DES TAXONS (POURCENTAGE) ET DIFFERENCE ENTRE LES STATIONS

	pav français	petit trianon	dif
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	10,0436681	1,14285714	-8,90
<i>Hypogymnia physodes</i>	7,86026201	0,57142857	-7,29
<i>Evernia prunastri</i>	6,55021834	1,14285714	-5,41
<i>Flavoparmelia caperata</i>	5,6768559	1,57142857	-4,11
<i>Parmelia sulcata</i>	11,3537118	7,57142857	-3,78
<i>Punctelia subrudecta</i>	8,15138282	4,71428571	-3,44
<i>Parmotrema perlatum</i>	6,69577875	4,28571429	-2,41
<i>Pertusia amara</i>	6,69577875	4,57142857	-2,12
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	1,16448326	0	-1,16
<i>Xanthoria candelaria</i>	2,18340611	1,14285714	-1,04
<i>Ochrolechia androgyna</i>	12,0815138	11,1428571	-0,94
<i>Melanelixia glabra</i>	1,60116448	1	-0,60
<i>Cetrelia olivetorum</i>	0,29112082	0	-0,29
<i>Ramalina farinacea</i>	0,29112082	0	-0,29
<i>Pertusaria albescens</i>	0,43668122	0,42857143	-0,01
<i>PN (pyrenula ?)</i>	0	0	0,00
<i>Diploicia canescens</i>	0	0	0,00
<i>Lecanora expallens</i>	0	0	0,00
<i>Lecanora clarotera</i>	1,8922853	2,28571429	0,39
<i>Phlyctis argena</i>	0	0,42857143	0,43
<i>Candelaria concolor</i>	0	0,85714286	0,86
<i>Pleurosticta acetabulum</i>	2,03784571	3,28571429	1,25
<i>Amandinea punctata</i>	0	1,28571429	1,29
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	0,43668122	2	1,56
<i>Candela ria xanthosti</i>	0	1,57142857	1,57
<i>Physconia grisea</i>	1,31004367	3	1,69
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	0,29112082	2	1,71
<i>Caloplaca cerina</i>	0,14556041	2,85714286	2,71
<i>Chrysothrix candelaris</i>	0	3,28571429	3,29
<i>Parmeliopsis ambigosa</i>	0,29112082	3,85714286	3,57
<i>Xanthoria Parietina</i>	2,62008734	6,57142857	3,95
<i>Physcia tenella</i>	4,94905386	9,14285714	4,19
<i>Lepraria incana</i>	0,58224163	6,57142857	5,99
<i>Physcia adsdens</i>	4,36681223	11,7142857	7,35

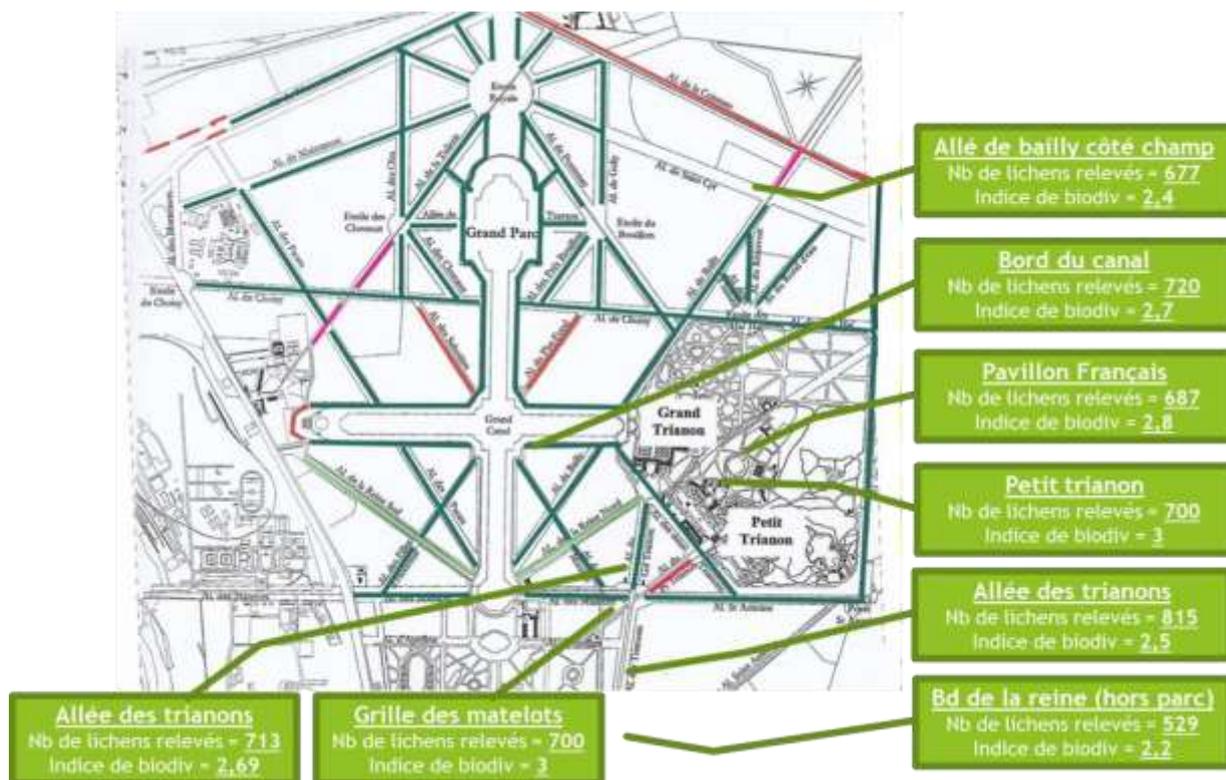


Figure 57 carte des stations, nombre de lichens relevés et indice de biodiversité associée

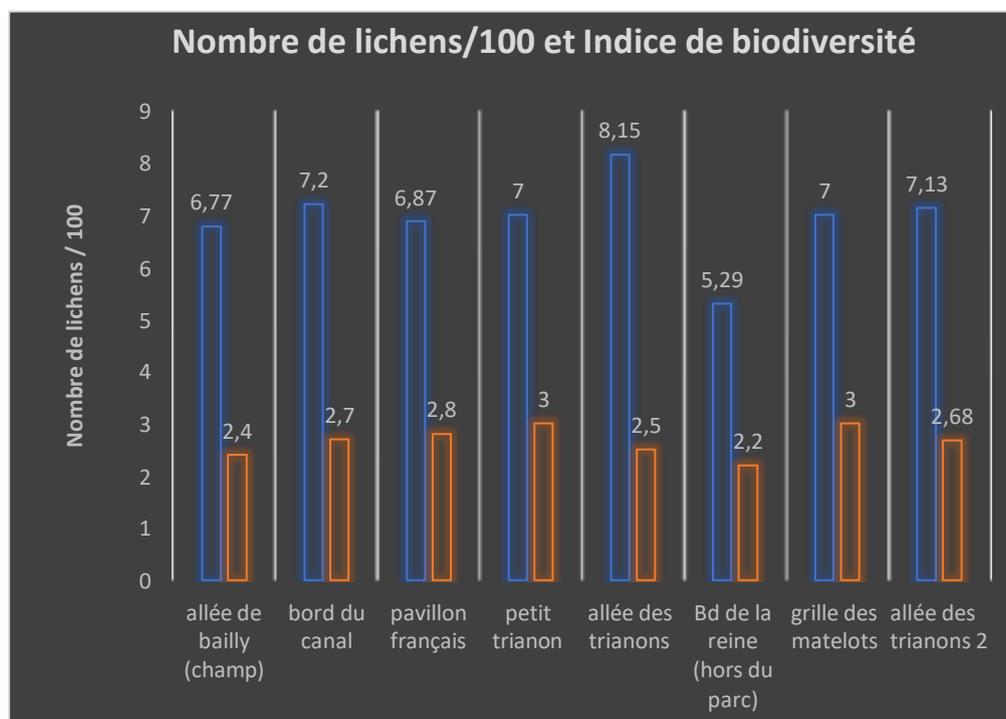


Figure 58 comparaison entre les stations du nombre de lichens et des indices de biodiversité

Conclusion de l'analyse qualitative du jeu de données

La station ayant le plus faible indice de biodiversité est hors du parc. C'est également une zone où la nitrophilie du cortège est très élevée, à mettre en relation avec sa situation géographique. (à l'inverse des arbres situés dans sa continuité, mais à l'intérieur du parc)

Les deux zones autour du pavillon français font partie de celles ayant l'indice de biodiversité le plus élevé, avec le bord du grand canal, ce sont également des zones dont les cortèges sont particulièrement hygrophiles

l'allée des trianons, malgré son grand nombre de lichens présent, a une biodiversité faible

La zone proche du champ est également assez pauvre en termes de biodiversité, et l'analyse de son cortège montre la plus grande tolérance à la pollution de toutes les zones, voir même aux pesticides.

Sur la globalité des sites étudiés, on constate que les communautés sont plutôt à petits lichens foliacés, moyennement voire peu toxitolérant hormis en dehors du parc et face aux champs et à ses potentiels pesticides ou la tolérance à la pollution et la nitrophilie sont nettement plus élevés.

Les conditions micro environnementales influent de manière significative sur la nature des groupements rencontrés, tant qualitativement que quantitativement. Quelques mètres, une simple grille, un changement de revêtement au sol ou la présence de l'eau font varier le paysage lichénosociologique retrouvé sur les phorophytes, bien que les conclusions que l'on peut tirer restent relativement proches en termes d'évaluation de la qualité de l'air, hors stations extrêmes citées précédemment.

La qualité de l'air y est jugée comme bonne, avec la présence de communautés variées et relativement peu toxitolérant, cette bonne qualité de l'air permet d'observer l'influence du micro-environnement sur les groupements, que ça soit en termes d'hygrophile, de nitrophilie, d'acidophile ou d'ouverture du milieu.

Conclusion

L'étude des lichens de Paris intramuros et de Versailles, depuis Nylander à nos jours nous a fait parcourir l'histoire de la qualité de l'air dans une ville profondément marquée par les grands changements industriels et sociétaux du XX et XXIème siècle.

De l'abondance à la quasi-disparition des lichens à cause des noirs de fumées, à la lente recolonisation des centres urbains liés à la disparition progressive des industries et de l'application des normes de chauffage et de transport, les lichénologues ont inscrits dans leurs herbiers et leurs relevés de terrains l'histoire de l'air que leurs contemporains ont respiré.

C'est grâce à ces nombreux hommes et femmes qui méthodiquement ont couchés sur papiers et entre les planches des herbiers ces photographies de l'invisible qu'il a été possible de mesurer cette évolution.

L'écrasante pollution du début du XXème siècle disparue, c'est dans la subtilité des micro-environnements que l'étude des lichens a montré sa capacité à dévoiler l'état des espaces dans lesquels nous évoluons.

Ce chemin à travers le temps et l'espace en compagnie des lichens nous apprend qu'un organisme, aussi peu remarquable qu'il puisse paraître au premier abord, peut devenir un guide formidable pour celles et ceux qui se donnent la peine d'apprendre son langage.

Les lichens sont une invitation à l'humilité face à la nature et à ses paroles, et nous apprennent que n'est négligeable que ce qu'on ne s'est pas donné la peine de considérer comme extraordinaire.

VI. Annexes

Grilles de relevés (Versailles)

Tableau 16 RELEVES GRILLE DES MATELOTS COTE HERDE

	grille des matelots (côté herbe)																																					
	haut					moyen					bas																											
	arbre 1		arbre 2		arbre 3	arbre 1		arbre 2		arbre 3	arbre 1		arbre 2		arbre 3																							
	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O														
<i>xanthoria Parietina</i>	0	3	3	2	2	5	3	3	1	2	3	2	1	3	0	5	1	1	2	4	0	5	1	1	1	5	2	0	2	3	1	2	2	4	2	1		
<i>physcia adsensens</i>	5	5	5	5	5	4	4	5	2	4	3	5	2	4	3	5	2	4	5	3	3	5	5	4	4	1	2	4	2	2	3	4	3	2	2	1		
<i>physcia tenella</i>	1	3	2	1	1	0	3	0	4	5	4	5	1	2	2	2	0	2	3	3	2	5	5	4	4	2	2	2	2	0	5	2	2	2	1	3		
<i>parmelia sulcata</i>	0	2	4	1	3	2	1	4	0	2	2	3	1	3	2	2	0	1	2	5	0	1	2	1	2	1	1	2	0	4	0	4	2	3	1	2		
<i>parmotrema perlatum</i>																																						
<i>punctelia subrudecta</i>	0	5	3	2	2	3	1	2	0	5	3	2	2	2	3	1	0	4	1	1	3	5	3	3	0	1	2	0	0	1	0	0	1	1	0	0		
<i>hypogymnia tubul</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>hypogymnia physodes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>physconia grisea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>pleurosticta acetabulum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>melanelixa glabra</i>	0	3	0	0	1	0	3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>cetrelia olivatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>flavoparmelia caperata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>hyperphyscia adglutinata</i>	0	3	2	1	2	1	0	0	0	2	2	0	0	3	2	2	2	0	1	1	2	2	2	2	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	
<i>phaeophyscia orbicularis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	0	2	1	1	1	0	2	1	1	1	1	2	1	0	0	0	1	0	2	2	1	0	2	1	1	
<i>lecanora clarotera</i>	2	1	2	4	1	3	4	3	0	1	3	3	3	3	2	3	0	4	4	4	2	1	0	5	3	4	4	4	1	3	3	2	0	2	1	0		
<i>caloplaca cerina</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	3	2	1	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>amandina punctata</i>	2	4	1	2	1	2	0	4	4	0	3	3	0	3	3	4	0	1	1	3	5	0	0	0	2	1	5	3	0	3	2	3	2	2	3	2		
<i>PN (pyrenula ?)</i>	5	4	1	2	1	0	1	0	3	2	4	0	0	2	0	2	2	3	3	0	3	0	0	0	2	0	5	0	4	3	0	2	2	3	5	2		
<i>pertusia amara</i>	1	2	2	2	2	2	2	1	2	3	1	1	2	3	3	3	5	1	1	0	2	1	0	0	1	1	3	1	2	3	1	2	1	1	2	1		
<i>pertusaria albesens</i>																																						
<i>xanthoria candelaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>candelaria concolor</i>	1	0	0	1	0	1	0	0	0	3	2	0	0	1	2	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>candelaria xanthostigma</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>lepraria incana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Diploicia canescens</i>																																						
<i>evemia prunastri</i>	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>chrysotrix candelaris</i>																																						
<i>lecanora expallens</i>																																						
<i>phlyctis argena</i>																																						
<i>ochrolecia androgymnia</i>																																						
<i>pseudoevemia furfuracea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>parmeliopsis ambigosa</i>																																						
<i>ramalina farinacea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

TABLEAU 17 RELEVES GRILLE DES MATELOTS COTE SABLE

	grille des matelots (côté sable) (allée des trianons)																																			
	haut				moyen				bas																											
	arbre 1		arbre 2		arbre 3		arbre 1		arbre 2		arbre 3		arbre 1		arbre 2		arbre 3																			
	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O												
<i>xanthoria Parietina</i>	0	1	2	1	0	3	0	0	0	2	1	1	0	1	3	0	1	1	2	0	0	1	1	0	2	5	4	4					4	3	4	4
<i>physcia adsensens</i>	2	5	5	5	2	4	2	2	3	5	5	3	0	4	5	5	2	3	2	1	2	4	4	4	3	3	5	3					5	5	5	5
<i>physcia tenella</i>	0	2	1	2	1	2	0	0	2	5	4	4	0	3	4	3	2	2	1	0	0	4	4	4	3	3	4	4					4	4	4	4
<i>parmelia sulcata</i>	1	5	1	1	1	0	2	0	0	2	1	2	0	4	2	3	0	4	2	0	1	2	1	1	0	0	1	1					1	1	1	0
<i>parmotrema perlatum</i>																																				
<i>punctelia subrudecta</i>	0	0	3	3	0	5	3	2	0	5	5	4	0	4	5	2	0	3	2	0	0	5	5	5	0	2	3	2					0	4	0	1
<i>hypogymnia tubul</i>	0	2	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	1	0	0	1	2	1	0	1	2	1					1	2	1	0
<i>hypogymnia physodes</i>	2	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	2	1	0	0	2	1	1	0	2	2	1					0	2	2	1
<i>physconia grisea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
<i>pleurosticta acetabulum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	2	0
<i>melanelixa glabra</i>	0	0	2	1	0	1	0	0	0	3	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	0					0	1	1	0
<i>cetrelia olivatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
<i>flavoparmelia caperata</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	2	1	0	0	1	0	0	1	1	2	0					1	2	1	1
<i>hyperphyscia adglutinata</i>	0	0	2	0	1	3	2	2	0	0	0	4	0	3	2	3	2	2	1	1	0	0	0	0	2	2	1	4					2	2	1	2
<i>phaeophyscia orbicularis</i>	1	0	2	0	1	2	1	1	0	0	0	2	0	2	1	1	2	1	1	1	0	0	0	0	1	2	1	1					1	2	0	1
<i>lecanora clarotera</i>	0	0	0	4	1	0	2	0	0	3	3	2	3	3	4	3	2	2	2	0	0	4	2	0	0	2	3	2					0	3	3	1
<i>caloplaca cerina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
<i>amandina punctata</i>	0	1	0	0	4	3	1	0	2	2	1	1	0	0	1	0	1	0	1	3	2	2	1	1	1	1	0	0					0	2	0	2
<i>PN (pyrenula ?)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
<i>pertusia amara</i>	1	5	3	3	0	2	3	4	2	1	1	3	2	0	3	5	0	0	3	1	0	0	3	2	2	0	3	2					1	0	1	1
<i>pertusaria albesens</i>																																				
<i>xanthoria candelaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0					0	0	0	0
<i>candelaria concolor</i>	2	0	0	0	0	1	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0					0	0	0	0
<i>candelaria xanthostigma</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	2	0	4	0	0	0	2	1	0	0					3	2	1	0
<i>lepraria incana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
<i>Diploicia canescens</i>																																				
<i>evernia prunastri</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0					0	3	3	0
<i>chrysotrix candelaris</i>																																				
<i>lecanora expallens</i>																																				
<i>phlyctis argena</i>																																				
<i>ochrolecia androgymnia</i>																																				
<i>pseudoevernia furfuracea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0
<i>parmeliopsis ambigosa</i>																																				
<i>ramalina farinacea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	0

TABLEAU 18 RELEVES ALLEE DE LA REINE COTE PARC

	allée de la Reine (côté parc) (allée des trianons)																																						
	haut					moyen					bas																												
	arbre 1		arbre 2		arbre 3		arbre 1		arbre 2		arbre 3		arbre 1		arbre 2		arbre 3																						
	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O															
<i>xanthoria Parietina</i>	5	5	0	2	2	3	3	2	1	1	0	0	4	5	2	3	4	2	2	2	3	2	1	2	2	3	3	2	2	4	4								
<i>physcia adsendens</i>	5	5	3	5	4	2	5	0	4	3	3	5	5	5	3	5	4	4	3	3	5	4	5	3	5	3	4	1	3	4	3	4	3	3	4	4			
<i>physcia tenella</i>	5	5	0	4	5	3	2	0	4	3	2	4	5	4	4	4	5	4	0	2	4	4	5	5	4	5	5	1	4	4	5	5	5	5	4				
<i>parmelia sulcata</i>	2	2	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	4	3	1	0	4	4
<i>parmotrema perlatum</i>																																							
<i>punctelia subrudecta</i>	5	1	0	0	2	4	2	0	2	2	0	2	4	2	0	0	3	4	1	1	1	2	0	1	4	3	2	1	3	3	3	3	1	0	4	4			
<i>hypogymnia tubul</i>	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>hypogymnia physodes</i>	3	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>physconia grisea</i>	2	1	0	1	2	3	2	0	5	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	3	4	2	1	0	1	0			
<i>pleurosticta acetabulum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	1	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>melanelixa glabra</i>	2	0	0	0	2	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
<i>cetrelia olivatum</i>	3	4	0	2	2	2	0	0	2	0	0	2	4	3	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>flavoparmelia caperata</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
<i>hyperphyscia adglutinata</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	1	5	2	3	3	3	4	4	2	1	3	3	2	4	5	4	5	4	4	4	4			
<i>phaeophyscia orbicularis</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	4	0	0	3	3	2	2	3	2	2	3	2	3	4	4	3	4	3	4	3	4		
<i>lecanora clarotera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>caloplaca cerina</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>amandina punctata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>PN (pyrenula ?)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>pertusia amara</i>	1	0	0	1	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0		
<i>pertusaria albesens</i>																																							
<i>xanthoria candelaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>candelaria concolor</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>candelaria xanthostigma</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>lepraria incana</i>	0	0	0	0	2	3	1	0	4	2	4	4	2	3	2	3	3	3	4	3	3	2	3	4	0	0	0	0	3	2	2	2	0	0	0	0	0		
<i>Diploicia canescens</i>																																							
<i>evernia prunastri</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>chrysotrix candelaris</i>																																							
<i>lecanora expallens</i>																																							
<i>phlyctis argena</i>																																							
<i>ochrolecia androgymnia</i>																																							
<i>pseudoevernia furfuracea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>parmeliopsis ambigosa</i>																																							
<i>ramalina farinacea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

TABLEAU 19 RELEVES ALLEE DE LA REINE HORS PARC

	allée (boulevard) de la Reine (hors parc)																																				
	haut					moyen					bas																										
	arbre 1		arbre 2		arbre 3	arbre 1		arbre 2		arbre 3	arbre 1		arbre 2		arbre 3																						
	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O																	
<i>xanthoria Parietina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																	
<i>physcia adscendens</i>	0	0	1	0	2	0	5	2	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0																
<i>physcia tenella</i>	0	0	1	1	3	0	0	2	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0																
<i>parmelia sulcata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																
<i>parmotrema perlatum</i>																																					
<i>punctelia subrudecta</i>	0	0	0	2	0	3	1	3	0	4	3	2	1	1	3	3	3	2	4	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0		
<i>hypogymnia tubul</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>hypogymnia physodes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>physconia grisea</i>	0	0	0	0	2	4	1	5	3	4	5	2	3	1	2	5	5	2	4	3	4	4	0	4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
<i>pleurosticta acetabulum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>melanelixa glabra</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>cetrelia olivatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>flavoparmelia caperata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>hyperphyscia adglutinata</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	4	3	0	2	0	2	1	0	2	2	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>phaeophyscia orbicularis</i>	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	4	3	2	2	0	0	2	3	0	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>lecanora clarotera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>caloplaca cerina</i>	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	3	2	1	2	2	1	1	0	0	0	0	
<i>amandina punctata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>PN (pyrenula ?)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>pertusia amara</i>	1	0	3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>pertusaria albesens</i>																																					
<i>xanthoria candelaria</i>	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	2	3	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	
<i>candelaria concolor</i>	2	2	0	3	3	3	2	3	0	1	0	2	5	3	3	5	4	2	2	3	3	3	3	0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	2	
<i>candelaria xanthostigma</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>lepraria incana</i>	4	0	0	3	5	0	1	3	3	0	3	3	2	2	3	2	1	2	1	1	0	3	2	1	4	1	1	3	2	1	2	1	1	1	2	3	
<i>Diploicia canescens</i>																																					
<i>evernia prunastri</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>chrysotrix candelaris</i>																																					
<i>lecanora expallens</i>																																					
<i>phlyctis argena</i>																																					
<i>ochrolecia androgymnia</i>																																					
<i>pseudoevernia furfuracea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>parmeliopsis ambigosa</i>																																					
<i>ramalina farinacea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

TABLEAU 20 RELEVES ALLEE DE BAILLY COTE CHAMPS

	allée de Bailly (côté champs)																																												
	haut					moyen					bas																																		
	arbre 1		arbre 2		arbre 3	arbre 1		arbre 2		arbre 3	arbre 1		arbre 2		arbre 3																														
	N	S	E	O		N	S	E	O		N	S	E	O		N	S	E	O		N	S	E	O																					
<i>xanthoria Parietina</i>	0	3	1	5	5	0	2	4	2	0	0	1	0	3	1	4	0	4	0	4	2	0	0	4	2	5	4	5	1	2	0	2	0	0	1	4									
<i>physcia adsensens</i>	0	4	4	5		5	0	5	0		5	0	0	5		0	5	2	5		0	5	0	5		5	0	0	5		2	5	4	5		3	5	0	4		0	0	4	4	
<i>physcia tenella</i>	0	4	5	5		5	0	5	0		5	0	0	4		0	5	2	5		0	5	0	5		5	0	0	5		4	5	4	5		1	1	0	3		0	0	5	5	
<i>parmelia sulcata</i>	0	0	0	4		5	0	5	0		1	0	0	0		0	5	0	5		0	3	0	4		1	0	0	1		0	0	0	0		0	1	0	1		0	0	0	4	
<i>parmotrema perlatum</i>																																													
<i>punctelia subrudecta</i>	0	0	0	0		3	0	4	0		0	0	0	0		0	0	1	3		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	5	
<i>hypogymnia tubul</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>hypogymnia physodes</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>physconia grisea</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	2	0	3		0	3	0	0		3	0	0	0		0	5	0	2		0	0	0	0						
<i>pleurosticta acetabulum</i>	0	0	0	1		4	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>melanelixa glabra</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>cetrelia olivatum</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>flavoparmelia caperata</i>	0	0	0	0		2	0	5	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>hyperphyscia adglutinata</i>	0	4	4	3		4	0	4	0		4	0	0	5		0	5	2	5		0	5	0	5		5	0	0	5		5	5	5	5		4	5	0	4		0	0	5	5	
<i>phaeophyscia orbicularis</i>	0	0	0	3		0	0	0	0		5	0	0	5		0	5	2	5		0	5	0	5		5	0	0	0		2	4	5	4		3	4	0	4		0	0	5	5	
<i>lecanora clarotera</i>	0	0	0	5		4	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	3	0	4		3	0	0	5		0	3	3	0		0	3	0	3		0	0	5	5	
<i>caloplaca cerina</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	1		0	0	5	4						
<i>amandina punctata</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		1	0	0	0		0	0	0	0		3	2	0	0		0	0	0	4		0	0	0	1		0	1	0	2		0	0	0	3	
<i>PN (pyrenula ?)</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>pertusia amara</i>	0	2	2	0		0	0	0	3		0	0	0	0		0	1	2	0		0	0	0	1		0	0	0	0		0	0	0	0		2	0	0	2		0	0	0	0	
<i>pertusaria albesens</i>																																													
<i>xanthoria candelaria</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>candelaria concolor</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		2	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	2		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>candelaria xanthostigma</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>lepraria incana</i>	0	0	0	0		0	0	0	5		0	0	0	0		0	0	0	0		5	0	0	0		0	4	0	0		3	0	0	3		2	0	0	2		4	0	0	0	
<i>Diploicia canescens</i>	0	0	0		1	0	0	0		0	0	0	0		0	5	0	2		0	0	0	0		1	0	0	2		0	3	0	2		1	5	0	0		0	0	0	0		
<i>evernia prunastri</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>chrysotrix candelaris</i>																																													
<i>lecanora expallens</i>																																													
<i>phlyctis argena</i>																																													
<i>ochrolecia androgymnia</i>																																													
<i>pseudoevernia furfuracea</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>parmeliopsis ambigosa</i>																																													
<i>ramalina farinacea</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						

TABLEAU 21 RELEVES ALLEE BORD DU CANAL

	allée bord du canal																																												
	haut					moyen					bas																																		
	arbre 1		arbre 2		arbre 3	arbre 1		arbre 2		arbre 3	arbre 1		arbre 2		arbre 3																														
	N	S	E	O		N	S	E	O		N	S	E	O		N	S	E	O		N	S	E	O																					
<i>xanthoria Parietina</i>	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	2	2	0	0	0	0	4	5	5	2	5	4	5	4	3	4	3	2										
<i>physcia adsensens</i>	0	2	5	0		0	4	0	0		2	4	0	0		0	0	3	0		3	4	2	2		3	5	3	4		3	2	0	3		3	3	0	0		4	3	3	2	
<i>physcia tenella</i>	5	2	4	0		2	4	0	0		2	4	2	4		3	0	3	2		4	3	2	4		4	4	3	4		2	2	0	2		3	2	3	5		4	3	3	2	
<i>parmelia sulcata</i>	0	4	2	0		3	2	0	0		0	2	1	5		0	2	1	2		0	2	0	0		0	2	0	0		0	2	0	0		1	1	3	3		0	0	2	2	
<i>parmotrema perlatum</i>	0	5	4	0		4	3	0	0		0	0	0	0		0	2	2	0		0	2	4	0		0	2	0	0		5	5	1	0		2	0	0	0		5	5	5	5	
<i>punctelia subrudecta</i>	0	5	2	0		3	3	0	0		0	2	0	0		0	5	2	0		0	1	1	0		0	2	0	0		0	5	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0	
<i>hypogymnia tubul</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>hypogymnia physodes</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	2	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>physconia grisea</i>	0	4	4	0		0	2	0	0		1	2	0	0		0	4	5	0		0	2	3	0		3	2	1	1		1	0	4	0		1	2	1	2		0	0	0	0	
<i>pleurosticta acetabulum</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>melanelixa glabra</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	2	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>cetrelia olivatum</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	4	0	0		0	2	2	0		0	0	0	0		2	3	2	2		1	1	2	1		0	0	0	0	
<i>flavoparmelia caperata</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	2	0	0		0	1	1	0		0	1	0	0		0	2	0	0		0	0	0	0		1	4	1	1	
<i>hyperphyscia adglutinata</i>	0	3	2	0		4	4	3	3		0	3	1	0		0	2	0	0		4	4	4	1		2	1	0	3		3	2	4	0		4	5	5	4		1	4	2	2	
<i>phaeophyscia orbicularis</i>	0	2	3	0		0	4	5	2		0	4	1	2		2	3	0	0		4	5	4	3		2	2	2	3		1	1	3	0		5	5	4	4		1	4	2	1	
<i>lecanora clarotera</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>caloplaca cerina</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	2	0	0		0	0	0	0		0	0	2	0		0	2	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	2	1	1	
<i>amandina punctata</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	2	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		1	0	2	2	
<i>PN (pyrenula ?)</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>pertusia amara</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		4	0	0	0		1	0	0	0		0	0	0	0		2	0	0	0		0	0	0	0						
<i>pertusaria albesens</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	1	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>xanthoria candelaria</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>candelaria concolor</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>candelaria xanthostigma</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>lepraria incana</i>	2	0	1	3		0	0	0	0		4	0	0	0		2	2	0	0		0	0	0	3		4	0	0	0		3	0	0	0		0	0	0	0		2	0	0	0	
<i>Diploicia canescens</i>	0	0	1	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	1	0		0	2	1	0		0	0	1	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	2	0	0	
<i>evernia prunastri</i>	0	3	2	0		0	2	1	0		0	4	0	2		0	1	0	0		0	2	0	0		0	3	0	2		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0	
<i>chrysotrix candelaris</i>	1	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>lecanora expallens</i>	0	0	0	5		0	0	0	4		4	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	4		4	0	1	0		0	0	0	0		0	0	0	0		1	1	0	0	
<i>phlyctis argena</i>	0	0	0	0		2	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	3		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	2		0	0	0	0						
<i>ochrolecia androgymnia</i>																																													
<i>pseudoevernia furfuracea</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						
<i>parmeliopsis ambigosa</i>																																													
<i>ramalina farinacea</i>	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0						

TABLEAU 22 RELEVÉS PAVILLON FRANÇAIS

	pavillon Français																																			
	haut				moyen				bas																											
	arbre 1		arbre 2		arbre 3		arbre 1		arbre 2		arbre 3																									
	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O																								
<i>xanthoria Parietina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3	1	0	2	2	2	1	1	1	2	1	1				
<i>physcia adscendens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	2	2	2	2	4	5	2	1	2	3				
<i>physcia tenella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	3	1	3	4	5	3	3	2	1
<i>parmelia sulcata</i>	0	5	5	0	0	4	3	3	1	5	2	1	0	5	2	0	0	5	5	2	2	5	0	2	0	5	2	0	2	3	2	2	0	2	2	1
<i>parmotrema perlatum</i>	0	4	0	3	0	0	2	0	0	5	0	0	0	3	2	1	0	3	2	2	0	2	2	0	0	4	0	0	3	3	0	0	0	3	2	0
<i>punctelia subrudecta</i>	0	5	2	0	2	2	1	0	0	2	0	0	0	4	3	2	0	5	0	2	3	3	0	0	0	4	3	0	2	2	0	0	2	3	3	1
<i>hypogymnia tubul</i>	0	3	3	4	0	3	2	0	2	2	0	2	0	5	2	3	2	3	3	0	4	4	2	2	0	3	0	4	0	0	3	3	0	2	0	3
<i>hypogymnia physodes</i>	0	1	2	1	2	0	1	0	2	1	1	0	0	5	3	2	2	4	2	0	3	3	2	3	0	3	0	3	0	0	2	2	0	2	1	1
<i>physconia grisea</i>	0	1	2	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>pleurosticta acetabulum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	3	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>melanelixa glabra</i>	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
<i>cetrelia olivatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>flavoparmelia caperata</i>	0	2	1	2	2	2	0	0	0	5	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	1	0	2	3	0	2	2	4	3	0	0	2	1	0	1
<i>hyperphyscia adglutinata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>phaeophyscia orbicularis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>lecanora clarotera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	2	1	0
<i>caloplaca cerina</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>amandina punctata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>PN (pyrenula ?)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>pertusia amara</i>	0	4	0	0	0	2	1	0	0	2	2	0	1	3	2	1	0	2	4	0	1	2	1	0	2	0	2	2	3	0	3	1	2	0	2	1
<i>pertusaria albesens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>xanthoria candelaria</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	0	3	0	0	1	2	0	2
<i>candelaria concolor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>candelaria xanthostigma</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>lepraria incana</i>	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diploicia canescens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>evernia prunastri</i>	0	4	2	2	1	2	0	2	1	1	1	0	0	5	0	3	0	3	2	1	2	2	0	3	0	0	0	3	0	2	0	0	0	1	0	2
<i>chrysotrix candelaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>lecanora expallens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>phlyctis argena</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>ochrolecia androgymnia</i>	5	2	3	4	5	0	3	4	5	3	5	5	0	3	0	0	5	0	2	3	3	4	5	4	0	2	0	0	1	0	2	1	2	0	1	1
<i>pseudoevernia furfuracea</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>parmeliopsis ambigosa</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>ramalina farinacea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABLEAU 23 RELEVES PETIT TRIANON

	petit trianon																																			
	haut				moyen				bas																											
	arbre 1		arbre 2		arbre 3		arbre 1		arbre 2		arbre 3																									
	N	S	E	O	N	S	E	O	N	S	E	O																								
<i>xanthoria Parietina</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	4	4	1	4	3	3	4	4	1								
<i>physcia adsendens</i>	0	5	2	2	0	1	0	3	0	0	0	2	0	5	5	0	0	0	3	3	0	0	0	0	5	3	5	5	4	4	5	5	4	2	5	4
<i>physcia tenella</i>	0	5	4	2	0	0	0	2	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	5	3	5	5	0	3	3	3	4	2	5	4
<i>parmelia sulcata</i>	0	5	0	4	2	0	0	0	0	4	3	2	1	1	1	1	1	5	0	5	0	4	0	2	1	1	2	1	0	1	0	2	0	2	2	0
<i>parmotrema perlatum</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	1	0	0	0	3	0	1	3	2	0	3	1	1	1	0	0	3	0	3	0	0	2	0
<i>punctelia subrudecta</i>	0	3	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	1	4	1	0	0	4	0	0	2	1	0	1	0	3	0	1	2	0
<i>hypogymnia tubul</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>hypogymnia physodes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>physconia grisea</i>	0	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	3	0	1	0	1	0	0	0	0
<i>pleurosticta acetabulum</i>	4	4	3	3	0	0	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>melanelixa glabra</i>	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>cetrelia olivatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>flavoparmelia caperata</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>hyperphyscia adglutinata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	1	0	1	1	1	0	2	0	0	1	0
<i>phaeophyscia orbicularis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	2	1	0	2	0	0	1	0
<i>lecanora clarotera</i>	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	0	0	0	2	0	0
<i>caloplaca cerina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	4	0	3	2	2	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>amandina punctata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
<i>PN (pyrenula ?)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>pertusia amara</i>	4	4	1	2	0	2	0	0	2	0	2	0	2	1	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>pertusaria albesens</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>xanthoria candelaria</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>candelaria concolor</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>candelaria xanthostigma</i>	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>lepraria incana</i>	1	5	0	0	0	0	0	5	3	2	2	2	0	0	0	2	3	0	4	0	0	0	5	0	0	0	0	0	2	2	4	1	1	2	0	0
<i>Diploicia canescens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>evernia prunastri</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>chrysotrix candelaris</i>	0	5	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	5	0	0	0	0	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>lecanora expallens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>phlyctis argena</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>ochrolecia androgymnia</i>	5	1	2	5	5	3	0	5	5	2	2	2	5	2	2	3	4	0	0	0	5	1	5	0	0	0	2	3	2	1	0	3	1	2	0	0
<i>pseudoevernia furfuracea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>parmeliopsis ambigosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	2	0	2	3	2	2	3	4	1
<i>ramalina farinacea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

VII. Table des figures

Figure 1 Erick Acharius 1757 - 1819	17
Figure 2 classification en deux règnes du vivant.....	18
Figure 3 william nylander 1822 1899	18
Figure 4 henry des abbayes 1898 – 1974.....	19
Figure 5 Andrei Sergueïevitch Famintsyne 1835 - 1918	20
Figure 6 vue d'ensemble simplifiée des 5 règnes	20
Figure 7 <i>Lichenomphalia umbellifera</i>	22
Figure 8 différents types d'haustoria, simple contact, intra cellulaire et interpariétal	23
Figure 9 Exemple du cycle de développement de <i>Xanthoria parietina</i> . 1 : thalle adulte avec apothécies ; 2 : coupe verticale d'une apothécie, montrant l'hyménium (h) ; 3 : détail de l'hyménium en coupe (e : épithécium ; p : paraphyses ; s : spores ; a : asque) ; 4(15)	24
Figure 10 Structure homéomère d' <i>Enchylium tenax</i> à thalle gélatineux [Source : document © J. ASTA] (11)	25
Figure 11 reproduction végétative chez le lichen	26
Figure 12 Échanges trophiques au sein d'un lichen entre champignon et algue (A) et entre champignon et cyanobactérie (B), à l'interface entre substrat et atmosphère	27
Figure 13 structure de l'acide usnique (21)	28
Figure 14 cristallisation dans la zone corticale d' <i>Usnea articulata</i>	28
Figure 15 lichen crustacé <i>Xanthoria elegans</i> (25)	30
Figure 16 lichen foliacé <i>xanthoria parietina</i> (26).....	31
Figure 17 lichen fruticuleux <i>Ramalina farinacea</i> (27)	32
Figure 18 lichen lépreux <i>Chrysothrix candelaris</i> (28).....	32
Figure 19 <i>cladonia portentosa</i> (29)	33
Figure 20 thalles hétéromères et homéomères	34
Figure 21 différents types d'organisation des structures des lichens	35
Figure 22 <i>Lobaria pulmonaria</i>	40
Figure 23 <i>Pseudevernia furfuracea</i>	41
Figure 24 évolution de la concentration en SO ₂ , Paris, de 1956 à 1998 données AirPARIF (46).....	42
Figure 25 protocole lichen go !.....	49
Figure 26 lichen go !	50
Figure 27 émissions de NO _x dans l'air en France métropolitaine (65).....	56
Figure 28 émissions de CO dans l'air en France Métropolitaine (65).....	57
Figure 29 Emissions de HAP dans l'air en France Métropolitaine (65).....	58
Figure 30 Paris et les essences d'arbres prospectées	60
Figure 31 PHOTOGRAPHIES DE HUIT ESPECES DE LICHENS COLONISANT LES ARBRES DE PARIS, VUS A LA LOUPE BINOCULAIRE. A, <i>ARTHROSPORUM POPULORUM</i> A. MASSAL., 1853; B, <i>*CALOPLACA ARNOLDII</i> (WEDD.) ZAHLBR. EX GINZB., 1915 ; C, <i>CANDELARIELLA AURELLA</i> (HOFFM.) ZAHLBR., 1928 ; D.....	66
Figure 32 plan du domaine du chateau de versailles.....	72
Figure 33 Plan des jardins du château de Versailles en 1746, par Jean Delagrive.(71).....	72

Figure 34 grille d'échantillonnage	74
Figure 35 carte d'implantation des différents sites	75
Figure 36 Trianon nouveau substrat	77
Figure 37 petit trianon.....	78
Figure 38 zone pavillon français.....	79
Figure 39 Trianon pavillon français	80
Figure 40 allée de bailly	81
Figure 41 allée de bailly (forestier).....	81
Figure 42 (vue depuis la zone champ, vers zone forêt)	82
Figure 43 ALLEE DE BAILLY.....	83
Figure 44 situation d'allée, tronçon B.....	83
Figure 45 ZONE CHAMP.....	84
Figure 46 coupe de l'allée.....	84
Figure 47 zone proche des grilles d'entrée	85
Figure 48 zone hors du parc (72).....	86
Figure 49 zone de l'allée des trianons.....	87
Figure 50 allée des trianons	88
Figure 51 situation de l allée des trianons	88
Figure 52 coupe de la situation de l'allée du grand trianon (ou des trianons)	89
Figure 53 ZONE GRILLE DES MATELOTS	90
Figure 54 ZONE ALLEE DU MANEGE.....	91
Figure 55 allée des filles d'honneur	92
Figure 56 zone proche du grand trianon.....	93
Figure 57 carte des stations, nombre de lichens relevés et indice de biodiversité associée	119
Figure 58 comparaison entre les stations du nombre de lichens et des indices de biodiversité	119
Tableau 1 types d'écorces et population lichénique(11)	29
Tableau 2 Tableau de synthèse des taxons retrouvés dans les sites parisiens échantillonnés	63
Tableau 3 CARACTERISTIQUE DES ZONES ETUDIEES	94
Tableau 4 tableau de fréquence par taxon grille des matelots	99
Tableau 5 tableau de fréquence par taxon cote trianon	101
Tableau 6 REPARTITION DES TAXONS (POURCENTAGE) ET DIFFERENCE ENTRE LES STATIONS.....	103
Tableau 7 tableau de fréquence des espèces allée de la reine	104
Tableau 8 tableau de fréquence d'espece allée boulevard de la reine.....	106
Tableau 9 REPARTITION DES TAXONS (POURCENTAGE) ET DIFFERENCE ENTRE LES STATIONS.....	108
Tableau 10 tableau de fréquence des espèces allée de Bailly cote champ	109
Tableau 11 frequence des espèces allée bord du canal.....	111
Tableau 12 REPARTITION DES TAXONS (POURCENTAGE) ET DIFFERENCE ENTRE LES STATIONS.....	113
Tableau 13 tableau de fréquences des espèces pavillon français.....	114
Tableau 14 tableau de fréquences des espèces du petit trianon.....	116
Tableau 15 REPARTITION DES TAXONS (POURCENTAGE) ET DIFFERENCE ENTRE LES STATIONS.....	118
Tableau 16 RELEVES GRILLE DES MATELOTS COTE HERDE.....	122
Tableau 17 relevés grille des matelots cote sable	123
Tableau 18 relevés allée de la reine coté parc.....	124

Tableau 19 releves allée de la reine hors parc.....	125
Tableau 20 releves allée de bailly cote champs.....	126
Tableau 21 releves allée bord du canal.....	127
Tableau 22 releves pavillon français	128
Tableau 23 releves petit trianon	129

VIII. Bibliographie

1. Van Haluwyn C, Asta J, Gavériaux JP. guide des lichens de france, lichens des arbres. Belin. 2013. (fou de nature).
2. Coste C. Introduction à la biologie et l'écologie des lichens Un exemple de diversité lichénique : la Corse. In 2016.
3. Riget F, Asmund G, Aastrup P. The use of lichen (*Cetraria nivalis*) and moss (*Rhacomitrium lanuginosum*) as monitors for atmospheric deposition in Greenland. *Science of The Total Environment*. 17 janv 2000;245(1):137-48.
4. Richardson DHS. The vanishing lichens: their history, biology and importance. Newton Abbot [Eng.]: David & Charles; 1975. 231 p.
5. Roux C. Étude écologique et phytosociologique des peuplements lichéniques saxicoles-calcicoles du sud-est de la France. Cramer; 1981.
6. Nylander William. les lichens des environs de Paris. paris montrouge: paul schmidt; 1896. 162 p. (typographie paul schmidt).
7. Déruelle S, Lallemand R. Les lichens témoins de la pollution. Vuibert; 1983. 108 p.
8. Jean-Pierre Gavériaux. Lichens et évolution de la classification des êtres vivants [Internet]. [cité 23 mars 2020]. Disponible sur: https://www.afl-lichenologie.fr/Afl/Systematiq_01.htm
9. Schwendener S. Untersuchungen über den flechtenthallus....1860.
10. Revision des nostocacées contenues dans les principaux herbiers de France. 4 Teile in 1 Band. by Bornet, Édouard und Charles Flahault.: (1886) | Antiquariat Gerhard Gruber [Internet]. [cité 18 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.abebooks.com/Revision-nostocac%C3%A9es-contenues-principaux-herbiers-France/18534166122/bd>
11. Van Haluwyn C, Lerond M. guide des lichens. lechevalier. 1993.
12. Nash TH. lichen Biology. Cambridge university press. 1996.
13. Plessl A. Über die Beziehungen von Haustorientypus und Organisationshöhe bei Flechten. *Österreichische Botanische Zeitschrift*. 1963;110(2/3):194-269.
14. ULTRASTRUCTURAL STUDIES IN LICHENS - HONEGGER - 1986 - *New Phytologist* - Wiley Online Library [Internet]. [cité 12 avr 2020]. Disponible sur: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-8137.1986.tb00853.x>
15. Les lichens : des organismes hybrides – Encyclopédie de l'environnement [Internet]. [cité 2 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.encyclopedie-environnement.org/zoom/lichens-organismes-hybrides/>

16. Letrouit-Galinou M. Les Algues des Lichens. Bulletin de la Société Botanique de France. janv 1968;115(sup2):35-77.
17. Lallemand R, Boissière JC, Boissière MC, Leclerc JC, Velly P, Wagner J. La symbiose lichénique: approches nouvelles. Bulletin de la Société Botanique de France Actualités Botaniques. 1 janv 1986;133(2):41-79.
18. Boullard B. Guerre et paix dans le règne végétal. Ed. Marketing; 1990.
19. Traité de lichenologie [Internet]. Tela Botanica. 2015 [cité 15 juin 2020]. Disponible sur: <https://www.tela-botanica.org/2015/01/article6702/>
20. Nguyen KH, Chollet-Krugler M, Gouault N, Tomasi S. UV-protectant metabolites from lichens and their symbiotic partners. Nat Prod Rep. 6 nov 2013;30(12):1490-508.
21. Acide usnique. In: Wikipédia [Internet]. 2021 [cité 1 nov 2022]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Acide_usnique&oldid=181313234
22. Bialonska D, Dayan F. Chemistry of the Lichen Hypogymnia physodes Transplanted to an Industrial Region. Journal of chemical ecology. 1 janv 2006;31:2975-91.
23. Asplund J, Larsson P, Vatne S, Gauslaa Y. Gastropod grazing shapes the vertical distribution of epiphytic lichens in forest canopies. Journal of Ecology. 2010;98(1):218-25.
24. Clauzade G, Rondon Y. Types morphologiques et types biologiques chez les Lichens. Bulletin de la Société Botanique de France. janv 1966;113(sup2):61-71.
25. Mosquin D. Botany Photo of the Day. 2005 [cité 24 oct 2022]. Xanthoria elegans. Disponible sur: <https://botanyphoto.botanicalgarden.ubc.ca/2005/11/xanthoria-elegans/>
26. Xanthoria_parietina [Internet]. [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: https://www.afl-lichenologie.fr/Photos_AFL/Photos_AFL_X/Xanthoria_parietina.htm
27. Lichen fruticuleux. In: Wikipédia [Internet]. 2022 [cité 24 oct 2022]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Lichen_fruticuleux&oldid=191242292
28. Photo : Chrysothrix candelaris, lichen imparfait à thalle lépreux. [Internet]. [cité 24 oct 2022]. Disponible sur: <https://www.visoflora.com/photos-nature/photo-grand-tache-jaune-souffre.html>
29. *Cladonia*. In: Wikipédia [Internet]. 2020 [cité 1 nov 2022]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Cladonia&oldid=176796288>
30. Agnan Y. Futura. [cité 23 mars 2020]. Les lichens pour évaluer la qualité de l'air. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/environnement-lichens-temoins-pollution-atmospherique-1900/page/2/>
31. Asta J, Garrec JP. Etude de l'accumulation du fluor dans les lichens d'une vallée alpine polluée. Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological. avr 1980;21(4):267-86.
32. Iii THN, Sigal LL. Gross Photosynthetic Response of Lichens to Short-Term Ozone Fumigations. The Bryologist. 1979;82(2):280.
33. LeBlanc SCF, Sloover JD. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. Can J Bot. 1 août 1970;48(8):1485-96.

34. Purvis OW, Chimonides J, Din V, Erotokritou L, Jeffries T, Jones GC, et al. Which factors are responsible for the changing lichen floras of London? *Science of The Total Environment*. juill 2003;310(1-3):179-89.
35. Gouaux P, Vincent JP. Mise en evidence, controle de l'action de la pollution sur les lichens (*Peltigera canina*) par utilisation du film infrarouge couleurs. *Science of The Total Environment*. juin 1990;95:181-90.
36. Sigal LL, Nash III TH. Lichen Communities on Conifers in Southern California Mountains: An Ecological Survey Relative to Oxidant Air Pollution. *Ecology*. 1983;64(6):1343-54.
37. Scott MG, Hutchinson TC. The use of lichen growth abnormalities as an early warning indicator of forest dieback. *Environ Monit Assess*. 1 nov 1990;15(3):213-8.
38. Adamson E, Seppelt RD. A Comparison of Airborne Alkaline Pollution Damage in Selected Lichens and Mosses at Casey Station, Wilkes Land, Antarctica. In: Kerry KR, Hempel G, éditeurs. *Antarctic Ecosystems*. Berlin, Heidelberg: Springer; 1990. p. 347-53.
39. Holopainen T. Alterations in the ultrastructure of epiphytic lichens *Hypogymnia physodes* and *Alectoria capillaris* caused by air pollution. *Silva Fennica* [Internet]. 1 janv 1981 [cité 9 janv 2023];15(4). Disponible sur: <https://silvafennica.fi/article/5149>
40. Karakus B, Odabasoglu F, Cakir A, Halici Z, Bayir Y, Halici M, et al. The effects of methanol extract of *Lobaria pulmonaria*, a lichen species, on indometacin-induced gastric mucosal damage, oxidative stress and neutrophil infiltration. *Phytotherapy Research*. 2009;23(5):635-9.
41. Bonnemain B. L'usage des lichens : Mitchell (Michael E.), "Contentious Cures : The rise and Decline of Lichens as European Materia Medica", ("Usage médical controversé : l'émergence et le déclin de l'utilisation des lichens pour la matière médicale en Europe"), *Pharmacy in History*, 57, n° 3-4, 2015. *Revue d'Histoire de la Pharmacie*. 2016;103(392):650-1.
42. équipe LCB. La mousse de chêne, un parfum tout en complexité [Internet]. Carrément Belle. 2022 [cité 18 déc 2022]. Disponible sur: <https://www.carrementbelle.com/blog/fr/?p=21868>
43. Robbins JA, Matthews JA. Use of ecological indicator values to investigate successional change in boreal to high-alpine glacier-foreland chronosequences, southern Norway. *The Holocene*. 1 nov 2014;24(11):1453-64.
44. Lichenometry as Applied to Moraines in Alaska, U.S.A., and Kamchatka, Russia [Internet]. [cité 5 déc 2022]. Disponible sur: [https://bioone.org/journals/arctic-antarctic-and-alpine-research/volume-35/issue-2/1523-0430_2003_035_0129_LAATMI_2.0.CO_2/Lichenometry-as-Applied-to-Moraines-in-Alaska-USA-and-Kamchatka/10.1657/1523-0430\(2003\)035\[0129:LAATMI\]2.0.CO;2.full](https://bioone.org/journals/arctic-antarctic-and-alpine-research/volume-35/issue-2/1523-0430_2003_035_0129_LAATMI_2.0.CO_2/Lichenometry-as-Applied-to-Moraines-in-Alaska-USA-and-Kamchatka/10.1657/1523-0430(2003)035[0129:LAATMI]2.0.CO;2.full)
45. Hawksworth DL, Rose F. Qualitative Scale for estimating Sulphur Dioxide Air Pollution in England and Wales using Epiphytic Lichens. *Nature*. juill 1970;227(5254):145-8.
46. LES TENDANCES DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE [Internet]. [cité 27 avr 2022]. Disponible sur: <https://omer7a.obs-mip.fr/mallette/fiches/Les-tendances-de-la-pollution-atmospherique.html>
47. Van Haluwyn C, Asta J, Béguinot J, Botineau M, Deruelle S, Lerond M, et al. Lichens et environnement Quelques travaux français depuis 1970. *Bulletin de la Société Botanique de France Actualités Botaniques*. janv 1986;133(2):81-112.

48. Herzig R, Liebendörfer L, Urech M, Ammann K, Cuecheva M, Landolt W. Passive Biomonitoring with Lichens as a Part of an Integrated Biological Measuring System for Monitoring Air Pollution in Switzerland. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 1 janv 1989;35(1):43-57.
49. Nylander MW. Les Lichens Du Jardin Du Luxembourg. *Bulletin de la Société Botanique de France*. janv 1866;13(7):364-71.
50. Le protocole de Lichens GO! - PartiCitaE [Internet]. [cité 15 sept 2022]. Disponible sur: <http://www.particitae.upmc.fr/fr/suivez-les-lichens/protocole-lichens-go.html>
51. Dailymotion [Internet]. 2018 [cité 15 sept 2022]. 7 - Simon RIVART - Rencontres Naturalistes 2018 - Vidéo Dailymotion. Disponible sur: <https://www.dailymotion.com/video/x6yfuge>
52. Tournefort JP de, 1656-1708. Histoire des plantes qui naissent aux environs de Paris. 1698 [cité 26 févr 2018]; Disponible sur: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300353271>
53. mérat. Revue de la flore parisienne, suivie du texte du « Botanicon parisiense » de Vaillant avec les noms linnéens en regard: Ouvrage servant de complément aux quatre éditions (et au Synopsis) de la Nouvelle flore des environs de Paris (du même auteur) et à toutes celles publiées jusqu'ici. J.-B. Baillière et Méquignon-Marvis fils; 1843. 514 p.
54. Chevallier FF (1796 1840) A du texte. Flore générale des environs de Paris, selon la méthode naturelle : description de toutes les plantes agames, cryptogames et phanérogames qui y croissent spontanément.... Tome 1 / par F.-F. Chevallier,... [Internet]. Paris: Ferra; 1836 [cité 26 févr 2018]. Disponible sur: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6424101q>
55. Bouly de Lesdain M. Notes lichénologiques N° XLIII. *Bulletin de la Société Botanique de France*. janv 1958;105(5-6):236-7.
56. belair didier. Contribution a l'étude de la distribution des lichens épiphytes dans L'île-de-France: application au problème de la pollution atmosphérique. Thèse pharmacie, Lille, 385 p. [Lille]: pharmacie; 1979.
57. Déruelle S. Ecologie des lichens du Bassin parisien: impact de la pollution atmosphérique(engrais, SO₂ et Pb) et relations avec les facteurs climatiques [PhD Thesis]. 1983.
58. Lebreton É, Rivart S, Leblond S, Meyer C. Inventaire des lichens corticoles dans trois sites parisiens et dans l'arboretum de Chèvreloup (Yvelines). *Naturae* [Internet]. 3 nov 2021 [cité 2 mai 2022];(23). Disponible sur: <http://sciencepress.mnhn.fr/fr/periodiques/naturae/2021/23>
59. Nylander W. Synopsis methodica lichenum: omnium hucusque cognitorum præmissa introductione lingua Gallica tractata. Ex typ. L. Martinet; 1860. 540 p.
60. Bouly de Lesdain M, 1869-1965. Écologie (phanérogames, mousses et lichens) de quelques sites de Paris. 1948 [cité 27 févr 2018]; Disponible sur: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300726118>
61. Bouly de Lesdain MM. Lichens des environs de Versailles. *Bulletin de la Société Botanique de France*. janv 1907;54(8):680-98.
62. Bouly De Lesdain ML. Lichens des environs de Versailles; (2° Supplément). *Bulletin de la Société Botanique de France*. janv 1908;55(9):687-94.
63. Bouly De Lesdain ML. Lichens des environs de Versailles (Quatrième et dernier supplément). *Bulletin de la Société Botanique de France*. janv 1921;68(1):16-24.

64. La pollution de l'air en 10 questions. :17.
65. Citepa - Données et expertise Air & Climat [Internet]. [cité 18 déc 2022]. Disponible sur: <https://www.citepa.org/fr/>
66. Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports [Internet]. [cité 25 juin 2022]. Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2019. Disponible sur: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-de-la-qualite-de-lair-exterieur-en-france-en-2019-0>
67. Letrouit-Galinou MA, Seaward MRD, Deruelle S. A propos du retour des lichens épiphytes dans le Jardin du Luxembourg (Paris). Bulletin de la Société Botanique de France Lettres Botaniques. janv 1992;139(2):115-26.
68. cp_mnhn_01022018_frequentation2017.pdf [Internet]. [cité 17 juill 2022]. Disponible sur: https://www.mnhn.fr/system/files/atoms/files/cp_mnhn_01022018_frequentation2017.pdf
69. Seed L, Wolseley P, Gosling L, Davies L, Power SA. Modelling relationships between lichen bioindicators, air quality and climate on a national scale: Results from the UK OPAL air survey. Environmental Pollution. 1 nov 2013;182:437-47.
70. Parc du Château de Versailles : présentation et informations [Internet]. [cité 12 mai 2022]. Disponible sur: <http://www.versailles-visit.com/jardins-de-versailles.html>
71. Jardin de Versailles. In: Wikipédia [Internet]. 2022 [cité 12 mai 2022]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Jardin_de_Versailles&oldid=193431852
72. Google Maps [Internet]. [cité 10 janv 2023]. Google Maps. Disponible sur: <https://www.google.fr/maps/@48.8100355,2.1200647,3a,75y,31.94h,89.32t/data=!3m6!1e1!3m4!1s38Y5liyOLeJ9Or0WCgReYQ!2e0!7i13312!8i6656>
73. Guillaume. Les indices de diversité en écologie des écosystèmes [Internet]. Louernos Nature. 2020 [cité 18 déc 2022]. Disponible sur: <https://louernos-nature.fr/indices-de-diversite-ecologie-ecosystemes/>
74. Rose F, Boissiere JC. Catalogue raisonné des lichens du massif de Fontainebleau et des Trois Pignons. Les enseignements de cette étude. Bulletin de la Société Botanique de France Lettres Botaniques. janv 1990;137(2-3):173-173.

Université de Lille
FACULTE DE PHARMACIE DE LILLE
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE
Année universitaire 2023/2024

Nom : Rivart
Prénom : Simon

Titre de la thèse : Les lichens bio indicateurs de la qualité de l'air Contribution à l'étude de la distribution des lichens corticoles des jardins de Paris intramuros et du château de Versailles Application au problème de la pollution atmosphérique

Mots clés : lichens, fonge, bio-indicateur, pollution, Paris intra muros, château de Versailles

Résumé

Les lichens sont des organismes complexes, issus de la cohabitation symbiotique-parasitique de champignons, d'algues et d'autres formes de vies, présents sur la quasi-totalité du globe. Ils peuvent vivre des déserts chauds aux plaines glacées jusqu'aux jungles tropicales en passant par les grands centres urbains. Toutefois, l'activité humaine et la pollution qui l'accompagne affecte leur répartition et la composition du cortège des espèces. C'est fort de ce constat que des naturalistes, depuis le XIXème siècle, étudient ces populations, véritables « hygiomètres » de l'air ambiant. Après avoir compilé et résumé les études précédentes dans Paris intra Muros, nous irons dans quelques grands parcs parisiens ainsi que le long de la Seine étudier l'évolution de ce cortège. Enfin, c'est à Versailles que nous irons étudier les micros-variations de ce cortège.

Membres du jury

COURTECUISSÉ Régis Professeur des universités, laboratoire des sciences végétales et fongiques
CUNY Damien, Professeur des universités, laboratoire des sciences végétales et fongiques
BOURGMAYER Stéphane, Pharmacien titulaire de la pharmacie de Mormal
RUCAR Joaquim, enseignant agrégé de sciences et vie de la terre