

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعد دحلب - البليدة 1

Université de SAAD DAHLAB - BLIDA 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biotechnologie et Agroécologie

Filière : Ecologie et environnement

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master II

Option : Agro-environnement et bioindicateurs

Thème :

Utilisation des lichens comme bioindicateurs de la qualité de l'air

- Cas du jardin botanique du Hamma (Alger) -

Soutenu par:

MOKHTARI Manel & BENGOUIA Houda

Devant le jury composé de:

le: 07 / 07 / 2021

M^r ABBAD M.	MCA (UB01)	Président
M^r GRANDI M.	MCB (UB01)	Examineur
M^{me} RADI N.	MAA (UB01)	Promotrice
M^{me} BENMENNI K.	Chef de département	Copromotrice
	Conservation du végétal (JBH)	

Année universitaire : 2020-2021

REMERCIEMENTS

Nous tenons avant tout à remercier *Dieu* qui nous a donné la volonté et la force pour mener et achever ce travail

Ce travail n'aurait pu voir le jour sans la participation et le soutien de nombreuses personnes dont nous souhaiterons remercier :

D'abord nous voudrions adresser tous nos sincères remerciements à *Mme RADI N.* Nous tenons tout particulièrement à la remercier pour nous avoir encadrées, conseillées et soutenues, qu'elle soit assurée de notre respect.

Nos vifs remerciements vont à *Mme BENMENNI K.S* pour son chaleureux accueil, et ses précieux conseils au long de notre stage pratique.

Nous tenons à remercier vivement *Mr GRANDI M* d'avoir accepté d'examiner et évaluer notre travail.

Nous remercions aussi *Mr ABBAD M* qui a aimablement accepté d'évaluer et présider le jury de notre mémoire.

Un grand merci va à Monsieur le directeur du jardin botanique du Hamma de nous avoir autorisé et permis d'accomplir ce travail, au responsable de la bibliothèque ainsi que tout le personnel qui nous a aidé de près ou de loin à mener à terme notre stage.

Nous remercions également l'ingénieur *Mme HANIA* la responsable de laboratoire de *BPE* de l'Université Saad Dahleb BLIDA.

Enfin, merci à tous ceux qui ont participé de près ou de loin au succès et à la réalisation de ce travail pour leur aide et encouragement, sans oublier tous nos amis et nos collègues de *la promotion 2021*.

DÉDICACE

Je remercie tout d'abord ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la santé, la patience, la puissance et la volonté pour réaliser ce mémoire

Je dédie ce modeste travail avec toute mon affection à mes chers parents, ma mère Naima et mon père Mourad qui m'ont toujours soutenue, qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui, je vous aime, que dieu vous protège

- + A ma chère grand-mère Fatma qui m'a soutenue avec ses douaas, à qui je souhaite une bonne santé*
- + A mes chères sœurs (Meriem, Imen et Ines)*
- + A mes chers frères (Ayoub et Akram),*
- + A mes copines (Warda, Houria, Sabrina et Radhia)*
- + A mes adorables (Sara, Amina, Rahma, Fatima et Khalida)*
- + A toute la famille MOKHTARI et BOUADJADJA*
- + A mon binôme HOUDA, je n'oublierais jamais cette expérience et tous les moments de joie et de peine qu'on a partagés ensemble durant toute la période de nos études*
- + A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer*

Mame!...

DÉDICACE

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier le bon Dieu de m'avoir donné courage, volonté et surtout santé pour réaliser ce travail.

Avec l'exception de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arrivais jamais à leur exprimer mon amour sincère

A l'homme, ma précieuse offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect « Mon chère père SAID »

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse, « Mon adorable mère NADJIA »

✚ A mes chères sœurs Amina, Fatma, Asma et Lina qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études, que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur

✚ A mes meilleures amies Amina, Radhia et Sabrina merci pour leur amour et leurs encouragements

✚ A toute ma famille et mes amies que j'ai connues jusqu'à maintenant

✚ Sans oublier mon adorable binôme Manel, pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Houda...

Résumé

Notre étude vise à estimer et évaluer la qualité de l'air du Jardin botanique du HAMMA d'Alger via l'utilisation des lichens comme bioindicateurs.

La biodiversité lichénique au sein dudit site a été étudiée et un inventaire de la flore lichénique a été établi. La qualité de l'air a été estimée par la méthode de Kirschbaum et Wirth (1997) à travers le calcul de l'indice de qualité de l'air et la méthode de Leblanc et De Sloover (1970) par le calcul de l'indice de pureté de l'air.

Les résultats obtenus recensent 15 espèces de lichens épiphytes répartis en deux groupes selon leur capacité de résistance à la pollution atmosphérique.

Quant à l'évaluation de la qualité de l'air du jardin, il en ressort que le jardin français est classé en quatre (4) zones à savoir les zones II, III, IV et V alors que le jardin anglais en zones I, II, III et IV ce qui signifie que l'air du jardin est moyennement pollué.

Les résultats obtenus montrent clairement un lien étroit entre le nombre d'espèces lichéniques recensées, leur taux de recouvrement et le degré de pollution.

Mots clés : lichen, biosurveillance, pollution atmosphérique, bioindication.

Use of lichens as bio-indicators of air quality- Case of the Botanical garden of Hamma (Algiers)

Abstract

Our study aims to estimate and evaluate the air quality through the use of lichens as bio-indicators of air quality- Case of the Botanical garden of Hamma (Algiers)

The lichenic biodiversity within the site has been studied and an inventory of the lichen flora has been established. Air quality was estimate by the method of **Kirschbaum and Wirth (1997)** through the calculation of the air quality index and the method of **Leblanc and De Sloover (1970)** by the calculation of the air purity index.

The results obtained identify 15 species of epiphytic lichens divided into two groups according to their ability to resist air pollution.

As for the assessment of the air quality of the garden, it emerges that the French garden is classified into four (4) zones to know the zones II, III, IV and V while the English garden in zones I, II, III and IV which give a moderately polluted air quality.

The obtained results show clearly a close link between the number of lichen species recorded, their recovery rate and the pollution degree.

Keywords : lichen, biomonitoring, air pollution, bioindication.

استخدام الأشنات كمؤشرات حيوية لنوعية الهواء

- حالة حديقة نباتات الحامة (الجزائر) -

ملخص

تهدف دراستنا الى تقدير وتقييم جودة الهواء في حديقة النباتات الحامة في الجزائر العاصمة من خلال استخدام الأشنات كمؤشرات بيولوجية.

وقد تمت دراسة التنوع البيولوجي الأشنات (الحزازيات) داخل الموقع ووضع جرد للنباتات الأشنات.

وقد رت نوعية الهواء من خلال طريقة **Kirschbaum** و **Wirth (1997)** وذلك بحساب مؤشر جودة الهواء وطريقة **Leblanc** و **De Sloover (1970)** من خلال حساب مؤشر نقاء الهواء.

النتائج التي تم الحصول عليها تحدد 15 نوعا من الأشنات اللاجينية مقسمة الى مجموعتين وفقا لقدرتها على مقاومة تلوث الهواء. اما بالنسبة لتقييم نوعية الهواء في الحديقة، فإنه يظهر انه يمكن تصنيف الحديقة الفرنسية في أربع (4) مناطق وهي المناطق الثانية والثالثة والرابعة والخامسة في حين ان الحديقة الإنجليزية في المناطق الأولى والثانية والثالثة والرابعة والتي تعطي نوعية الهواء الملوثة بشكل معتدل.

وتبين النتائج التي تم الحصول عليها بوضوح وجود صلة وثيقة بين عدد أنواع الأشنات المسجلة ومعدل غطائها ودرجة التلوث.

الكلمات الرئيسية : الأشنات, الرصد الحيوي, تلوث الهواء, المؤشر الحيوي.

Glossaire

Bio indication : approche qui désigne l'évaluation de l'état et la qualité des milieux à l'aide des bio-indicateurs.

Bio indicateur : un organisme végétal, fongique ou animal ou un groupe d'espèces utilisé pour la bio évolution environnementale.

Biosurveillance : méthode d'évaluation environnementale visant à détecter et mesurer la concentration des polluants au sein des différents milieux.

Humus : la couche supérieure du sol crée, entretenue et modifiée par la décomposition de la matière organique.

Hyphe : filament constitutif du mycélium des champignons supérieurs et des lichens.

Pollution : la destruction ou dégradation d'un écosystème ou de la biosphère

Polluant : un altéragène biologique, physique ou chimique, développe des impacts négatifs sur tout ou une partie d'un écosystème ou de l'environnement en général.

Rhizine : petit filament formé d'hyphes, présent sur la face inférieure de certains lichens foliacés et permettant leur fixation au substrat.

Saxicole : organisme qui vit naturellement et préférentiellement ou uniquement sur les roches et murets.

Thallophytes : des végétaux comportant un simple thalle (algue, lichen, champignons...)

(MAHAS N., 2015)

Liste des tableaux

Tableau I : Recouvrement des espèces lichéniques.....	27
Tableau II : les réactions chimiques.....	28
Tableau III : Coefficient de recouvrement et de fréquence. (Berouanne, S. 2015).....	29
Tableau IV : Zone d'isopollution et classes des I.P.A	30
Tableau V : Différentes espèces lichéniques répertoriées au sein du jardin botanique du Hamma	32
Tableau VI : Classification des lichens selon le type de thalle et la famille.....	33
Tableau VII : Lichens présents et leur résistance à la pollution	34
Tableau VIII : Espèces de phorophytes étudiés.....	35
Tableau IX : Présence des lichens sur les phorophytes.....	36
Tableau X : Comparaison de l'inventaire des lichens	40
Tableau XI : Valeurs de l'I.Q.A dans les stations du jardin français	43
Tableau XII : Valeurs de l'I.Q.A dans les stations du jardin anglais	44
Tableau XIII : Valeurs d'I.P.A des stations de jardin français	46
Tableau XIV : Valeurs d'I.P.A des stations de jardin anglais	47
Tableau XV : Nombre de station du jardin français et anglais par zone et par classe d'I.P.A	48

Liste des figures

Figure.1 : coupe transversale d'un lichen.....	5
Figure.2 : Principaux types de thalles lichéniques.....	6
Figure.3 : structure Homéomère et Hétéromère des lichens	7
Figure.4 : schéma d'isidies des lichens	9
Figure.5 : Schéma de soralie des lichens	9
Figure.6 : Organes de reproduction sexuée des lichens	9
Figure.7 : Situation géographique du jardin (Google Map Satellite)	17
Figure.8 : Jardin anglais	18
Figure.9 : Jardin français	18
Figure.10 : Evolution des précipitations moyennes mensuelles de la région d'Alger (2006-2015)	18
Figure.11 : Evolution mensuelle des températures de la région d'Alger (2006-2015).....	19
Figure.12 : Diagramme Ombrothermique relatif à la ville d'Alger	19
Figure.13 : Position de la région de la wilaya d'Alger sur le climagramme d'Emberger	20
Figure.14 : vitesse moyenne mensuelle enregistrés durant la période (2006-2015) Station météorologique de Dar El-Beida, Alger.....	21
Figure.15 : Matériel utilisé sur le terrain	24
Figure.16 : Localisation de jardin d'essai du Hamma	25
Figure.17 : Maillage du jardin botanique du Hamma pour l'échantillonnage	26
Figure.18 : Grille fixée sur le tronc d'un arbre	27
Figure.19 : Matériel utilisé dans le laboratoire	28
Figure.20 : Echelle d'évaluation de la qualité de l'air de Kirschbaum et With (1997)	28
Figure.21 : Nombre d'espèces de phorophyte	35
Figure.22 : Espèces lichéniques recensées dans le jardin botanique du Hamma	38
Figure.23 : Spectre systématique des espèces lichéniques	41

Figure.24 : Spectre physiologique des lichens recensés dans le jardin d'essai (2021)	42
Figure.25 : Spectre physiologique des lichens GHENNAM (2011).....	42
Figure.26 : Spectre physiologique lichens du AKKA et AZZI 2013	43
Figure.27 : Spectre physiologique des lichens du AGUMYA et IMBULA 2013.....	43
Figure.28 : Représentation cartographique de l'I.Q.A sur le plan du jardin botanique du Hamma	45
Figure.29 : Représentation graphique de zonage des I.P.A sur le plan du jardin d'essai du Hamma	49
Figure.30 : les pourcentages dans notre étude.....	50
Figure.31 : les pourcentages dans l'étude d'AGUMYA et IMBULA (2013)	50
Figure.32 : les pourcentages dans notre étude.....	51
Figure.33 : les pourcentages dans l'étude d'AKKA et AZZI (2013)	51
Figure.34 : Représentation des sources de pollution autour de jardin d'essai du Hamma	52

Liste des abréviations

C.O.V : Composé organique volatile.

I.P.A : Indice de la Pureté Atmosphérique.

I.Q.A : Indice de la qualité de l'air.

ONM : Office National de la Météorologie.

KOH : hydroxyde de potassium.

NaClO : hypochlorite de sodium.

COVID-19 : la maladie à coronavirus.

Table des matières

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	2
Chapitre I : Analyse bibliographique	
I. Généralité sur les lichens	4
I.1. Définition	4
I.2. principaux groupements lichénique	4
I.3. Morphologie des lichens	4
I.4. Anatomie des lichens	7
I.5. Organes spéciaux du thalle lichénique	8
I.5.1. Organes portés par la face inférieure du thalle	8
I.5.2. Organes portés par la face supérieure du thalle.....	8
I.6. Reproduction et développement des lichens.....	8
I.6.1. Multiplication végétative	9
I.6.2. Multiplication sexuée.....	9
I.7. Naissance et croissance des lichens	10
I.8. Croissance des lichens	10
I.9. Physiologie des lichens	10
I.10. Lichens et leur écologie	11
I.11. Types de support	11
I.11.a. Influence des facteurs climatiques	11
I.11.b. Action des animaux et de l'homme	12
I.12. Usage des lichens	12
II. Lichens et la pollution atmosphérique	13

II.1. Pollution atmosphérique	15
II.2. Biosurveillance	15
II.3. Biosurveillance par les lichens	16
III. Description de la zone d'étude	16
III.1. Situation géographique	16
III.2. Historique de la zone d'étude	16
III.3. Quelques mission du jardin	17
III.4. Organisation spatiale du jardin	17
III.4. a. Jardin anglais	17
III.4.b. Jardin français	18
III.5. Climat de la zone d'étude	18
III.5.a. Pluviométrie	18
III.5.b. Température	19
III.5.c. Diagramme ombrothermique	19
III.5.d. Etage bioclimatique	20
III.5.e. Vent	20

Chapitre II : Matériel et Méthode

I.1. Matériel	23
I.2. Méthodes.....	24
I.2.a. Choix de la méthode d'étude	24
I.2.b. Choix du site d'étude.....	24
I.2.c. Localisation de la zone d'étude	24
I.2.d. Choix des stations d'étude	25
I.2.e. Choix des phorophytes	26
I.3. Identification des lichens sur terrain	27
I.4. Identification des lichens au laboratoire	27
II. Traitement des données	28
II.1. Indice de la qualité de l'air (I.Q.A)	28

II.2. Indice de pureté atmosphérique (I.P.A).....	29
---------------------------------------------------	----

Chapitre III : Résultat et Discussion

I. Diversité lichénique.....	32
I.1. Identification des lichens	32
I.2. Classification des espèces	32
I.3. Répartition des espèces en fonction de leur résistance à la pollution	33
II. Diversité des phorophytes	34
III.1. Fréquence des espèces lichéniques recensées dans le jardin d'essai	35
III.2. Biodiversité lichénique	37
III.3. Spectre systématique.....	41
III.4. Spectre physiologique	42
IV.1. Résultat de l'indice de la qualité de l'air (I.Q.A)	43
IV.2. Résultat de l'indice de pureté atmosphérique (I.P.A)	45
IV.2.a. Jardin français	46
IV.2.b Jardin anglais	47
V. Discussion générale	51
V.1. Facteurs environnementaux qui influencent l'I.P.A	51
V.1.a. Source de pollution	51
V.1.b. Couverture végétale	52
V.1.c. Effets des phorophytes	52
V.1.d. Vent	53
V.1.e. Etablissement et infrastructures	53
Conclusion	56

Références bibliographiques

Annexes

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'atmosphère est soumise à la pollution qui est un phénomène de grande ampleur. En effet, les pics de pollution causent des problématiques principalement environnementales et sanitaires à travers le monde. En général, la pollution est une modification défavorable du milieu naturel et la pollution atmosphérique est un problème sérieux pour la population notamment dans les régions industrielles. Les problèmes de pollution accumulés au fil des décennies passés sont à l'image de ces grandes villes dont le développement industriel, la circulation automobile et les déchets ménagers asphyxient leur environnement. **(Maizi, 2012)**

Depuis les années 1970, de nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des végétaux et plus particulièrement les lichens dans le domaine de la détection des pollutions atmosphériques (domaine de la bioindication) car sont des méthodes moins coûteuses.

Ainsi la bioindication est devenue un outil fiable et reconnu par les aménageurs et décideurs du monde entier pour estimer certains paramètres de l'environnement et en particulier celui de la qualité de l'air. **(Clother, 2016)**

L'étude des lichens comme est toujours très intéressante car non seulement elle peut être réalisée durant toute les saisons de l'année en tant que bioindicateur, mais également les lichens sont des espèces dotées d'un intérêt biologique exceptionnel.

En Algérie, le parc automobile et le développement des axes routiers connaissent une nette augmentation ce qui se répercute sur le taux de polluants qui affectent les organismes vivants dans la végétation qui est la plus exposée en permanence.

Les recherches sur la flore lichénique Algérienne restent jusqu'à présent embryonnaire et les travaux les plus importants réalisés demeurent ceux de **Semadi (1989), Djebbar et Fradjia (1992), Boutabia (2000), Rehali (2000), Rebbas et al (2011), Hassani et Djeddi, (2013) et Ait hammou (2015).**

Notre principal objectif dans le présent travail sera l'évaluation de la qualité de l'air et l'estimation du taux de pollution atmosphérique, dans le jardin botanique du Hamma d'Alger, à travers la biodiversité des lichens épiphytes en utilisant des indices universels à savoir l'indice de qualité de l'air (I.Q.A) et l'indice de pureté atmosphérique (I.P.A).

De plus, nous tenterons de déceler l'impact du confinement lié à la pandémie de la COVID 19 en comparant nos résultats à des résultats antérieurs, d'autant plus que le jardin a été fermé au large public pendant plus d'une année et la circulation automobile aux alentours du jardin a considérablement baissé.

A horizontal rectangular area filled with a vibrant green color, achieved through a brushstroke effect. The edges are irregular and textured, with some white space visible at the bottom and sides, suggesting the texture of paint on a surface.

Partie I :
Analyse bibliographique

I. Généralités sur les lichens

I.1. Définition

Les lichens font partie des thallophytes. Ce sont des plantes cellulaires vivaces, leurs fructifications sont portées sur un thalle (**Ozenda et Clauzade, 1970**). Ces organismes ont réveillé la curiosité des botanistes qui les considéraient comme des végétaux complexes, résultant de l'association symbiotique entre un champignon hétérotrophe qui assure la reproduction sexuée et donne la morphologie au lichen, et une algue photo autotrophe qui donne la couleur au lichen et élabore la matière organique.

Un lichen complet se compose en général des trois parties suivantes : d'un thalle c'est-à-dire d'un appareil nutritif ou végétatif, d'apothécies, ou fruit thécasporés c'est-à-dire d'un appareil reproducteur femelle, et des spermogonies qui représentent l'appareil reproducteur mâle (**William Nylander, 1896**).

I.2. Principaux groupements lichénique

Selon (**Gloaguen et Chaleix, 2015**), les lichens sont divisés en trois groupes principaux :

- **Lichens terricoles et humicoles** : ce sont des lichens qui croissent sur la terre ou l'humus, le thalle est toujours entièrement situé à la surface de substrat
- **Lichens saxicoles** : se trouvent sur les murs, les toits et les roches, ils sont très adhérent au substrat. Les lichens saxicoles sont les plus variés, abondants et présents (plus de $\frac{3}{4}$ des lichens présents en monde).
- **Lichens corticoles** : ce sont les lichens qui se développent sur les branches des arbres les écorces des troncs. Ils sont les plus abondants et le plus complexes.

L'association lichénique apporte des propriétés qu'on ne trouve pas chez l'un ou l'autre des partenaires :

- Un pouvoir lithogène
- La résistance aux températures extrêmes
- L'originalité des voies métaboliques avec l'élaboration de substances spécifiques, certains métabolites secondaires encore appelés acides lichéniques.

I.3. Morphologie des lichens

Le thalle est l'appareil végétatif des lichens, il assure la nutrition, l'entretien de la vie et la croissance et porte les éléments nécessaires à la reproduction (**Tievant ,2001**). Il est aussi

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

variable par ses formes extérieures que par sa texture. Les couleurs que le thalle présente le plus communément sont : le blanc, le gris, le jaunâtre, l'orange, le verdâtre, le brun ou le noirâtre.

Le thalle est formé, dans la plupart des Lichens, de trois (ou moins souvent quatre) couches ou systèmes d'éléments divers (**Figure. 1**), à savoir :

- une couche corticale ;
- une couche gonidiale ;
- une couche médullaire,
- et assez souvent encore une couche hypothalline

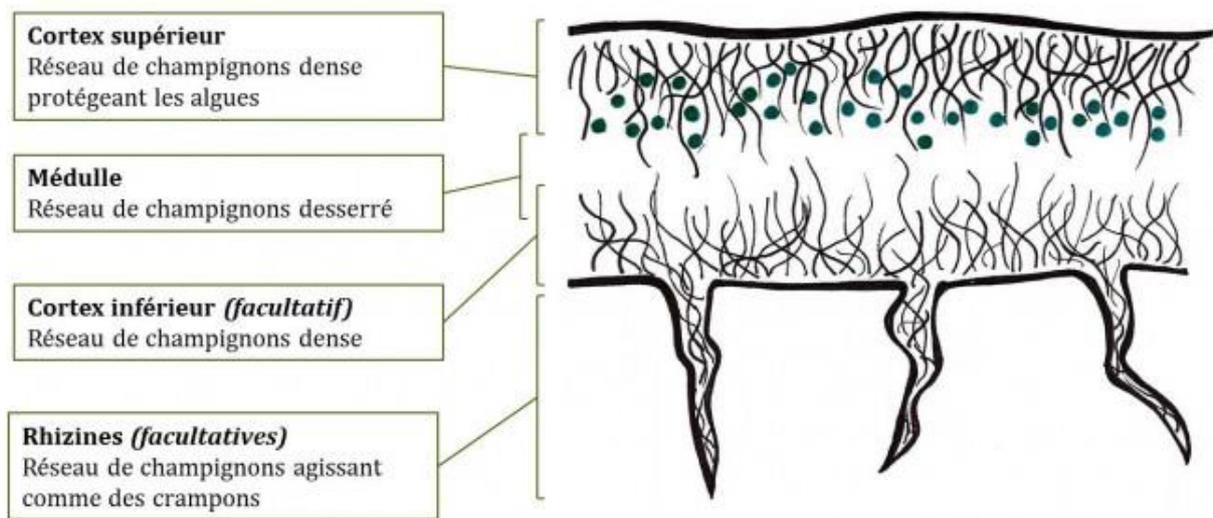


Figure 1 : Coupe transversale d'un lichen.

Le thalle porte les éléments nécessaires à la reproduction et est caractérisé par une grande diversité de formes et de couleurs qui définit 7 principaux types de lichens (**Figure. 2**) (**Van Haluwyn et al, 2009**) :

- **Thalles Foliacés** : semblables à des feuilles lobées qui adhèrent largement à leur substrat à l'aide de structure pseudo racinaire (peut être lobé, lacinié, pelté) (**Figure.2.a**).
- **Thalles Fruticuleux** : de forme plus variée et de structure plus complexe, Il est filiforme, dressé, pendant. Les thalles dressés cylindriques à fruits terminaux (très sensible à une atmosphère polluée) (**Figure.2.b**).
- **Thalles Crustacés** : sont les plus communs (90 %). Sous forme de croûte, ils adhèrent au substrat dans lequel ils peuvent pénétrer plus ou moins profondément. Ils se subdivisent en thalle squameux, radié, aréolé, granuleux...etc. (**Figure.2.c**).

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

- **Thalles Squamuleux** : sont composés d'écailles ou de lobes plus ou moins adhérents au substrat, mais pouvant aisément s'en détacher. Ces thalles sont intermédiaires entre les thalles crustacés et les thalles foliacés (**Figure.2.d**).
- **Thalles Gélatineux** : sont noirs et cassants à l'état sec, ont une consistance gélatineuse à l'état humide (**Figure.2.e**).
- **Thalles Lépreux** : ressemblent à de la poudre, se détachant facilement du substrat (**Figure.2.f**).
- **Thalles Composite (complexe)** : sont formés d'un thalle primaire plus ou moins foliacé et adhérent au substrat, sur lequel se développe un thalle secondaire dressé plus ou moins ramifié ou en forme de trompette (**Figure.2.g**).

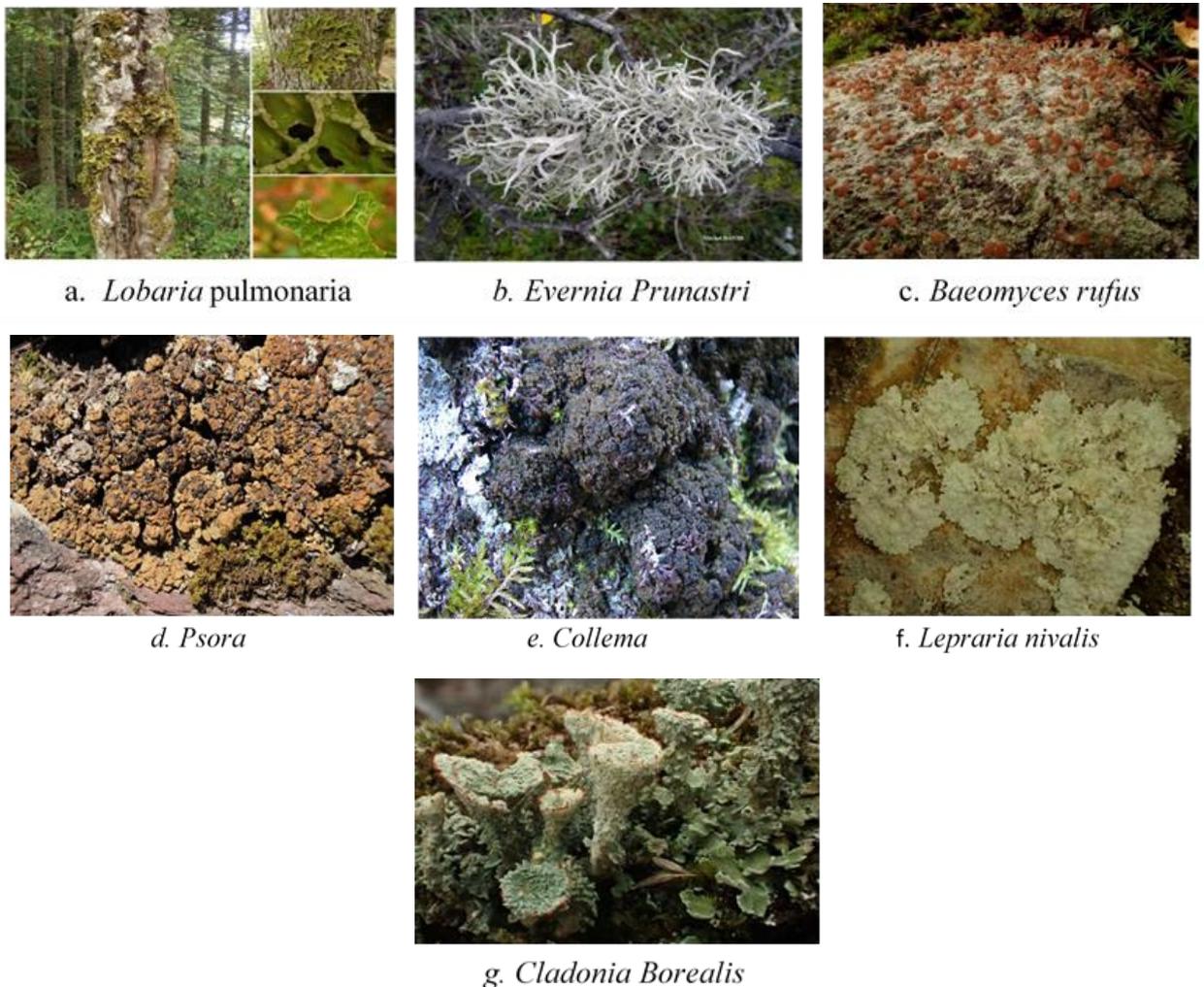


Figure 2 : Principaux types de thalles lichéniques (I)

I.4. Anatomie des lichens

La morphologie des lichens est très variée, leur structure anatomique est très uniforme et assure leur unité. On peut distinguer deux catégories fondamentales de structures (**Aprile et al, 2011**) (**figure. 3**) :

- **Structure homéomère** : une disposition égale des champignons et des algues dans le thalle, sont réparties de façon homogène parmi les hyphes (**Clauzade et Roux, 1987**).
- **Structure hétéromère stratifiée** : Elle est caractérisée par l'existence de plusieurs couches superposées bien visibles sur une section transversale sauf dans la structure filamenteuse, de la face supérieure à la face inférieure, les zones suivantes se superposent :
 - a) Cortex supérieur, formé seulement d'hyphes très épais, constitué parfois un faux tissu cellulaire ;
 - b) La couche algale ou couche assimilatrice, mélange de cellules algales et d'hyphes lâches mycéliens ;
 - c) La couche médullaire (médulle) formée par des hyphes lâches de champignon ;
 - d) Le cortex inférieur, cellules de champignon d'où s'échappent parfois des rhizines servant à la fixation du thalle.

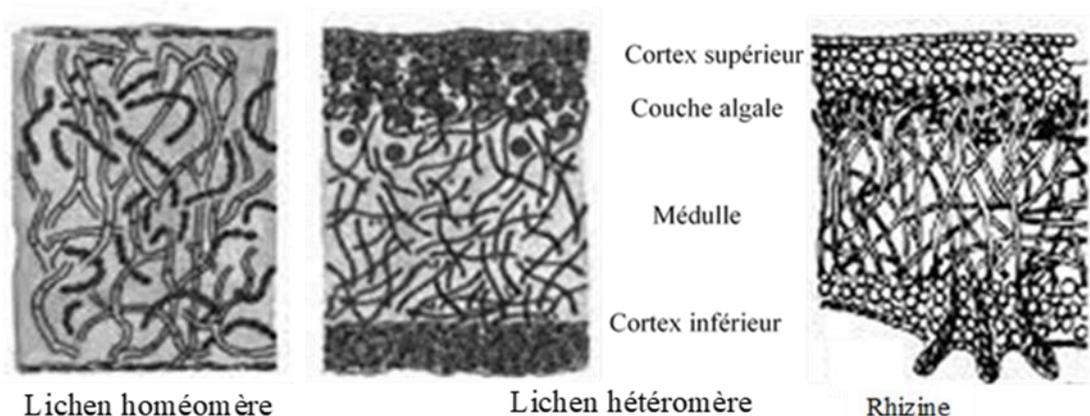


Figure 3 : structure Homéomère et Hétéromère des lichens

On distingue deux variantes, dans cette structure (**Ozenda et Clauzade, 1970**) :

- Structure radiée ;
- Structure stratifiée.

1.5. Organes spéciaux du thalle lichénique

Ces organes sont très divers et ont des fonctions vitales importantes ; ils interviennent dans l'alimentation des espèces (**Van Haluwyn et Lerond, 1993**).

1.5.1. Organes portés par la face inférieure du thalle (Geneves, 1990)

Rhizines : Ce sont des organes de fixation allongés du thalle foliacé, simples ou ramifiés, ont une couleur claire ou foncée, formées d'un faisceau d'hyphes plus au moins soudés et recouverte d'une gaine gélatineuse.

Poils : Sont constitués par les extrémités libres d'hyphes, appartenant principalement au cortex inférieur ou en l'absence de celui-ci à la médulle.

Veines : Constituent un réseau plus ou moins saillant, portant souvent des rhizines ou un tomentum.

Cyphelles : Ce sont des dépressions arrondies ou allongées, de teinte blanchâtre, formé de cellules globuleuses ménageant entre elles des espaces vides.

Pseudocyphelles : Ce sont des ouvertures du cortex inférieur et supérieur laissant apparaître la médulle. Elles ont un rôle important dans les échanges gazeux avec l'atmosphère.

1.5.2. Organes portés par la face supérieure du thalle

Cils : ont une teinte habituellement sombre, visibles à l'œil nu, constitués par les prolongements de plusieurs hyphes accolés.

Fibrilles : ce sont des ramifications filamenteuses courtes, collées au thalle et sont toujours bien visibles à l'œil nu.

Nodules : appelées également tubercules, sont de simples saillies, souvent de forme irrégulière, et toujours moins haute qu'épaisse

Papilles : sont de petites protubérances, uniquement constituées de cortex, visible à la loupe, plus haute que large.

Céphalodies : ce sont des sortes de verrues en général cortiquées.

1.6. Reproduction et développement des lichens

Les lichens se développent de plusieurs manières mais principalement via les organes de multiplication végétative.

1.6.1. Multiplication végétative

Elle se produit par dispersion de fragment de thalles ou d'organes spécialisés contenant les deux constituants de la symbiose :

- **Les isidies** (excroissance du thalle)
- **Les sorédies** (granules très fins).

Les organes de multiplication végétative :

- **Les isidies** : ce sont de petites excroissances qui contiennent des cellules du photosymbiote entourées d'une couche serrée d'hyphes. (**figure.4**)
- **Les soralies** : ce sont des groupements de sorédies, formées d'un enchevêtrement d'algues et d'hyphes. (**figure.5**)

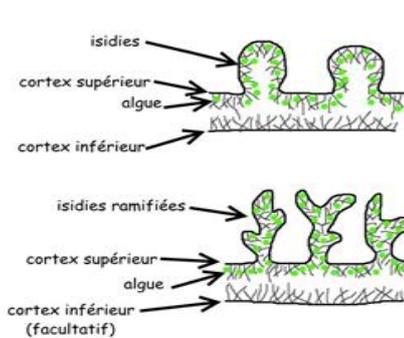


Figure 4 : Schéma d'isidies des lichens

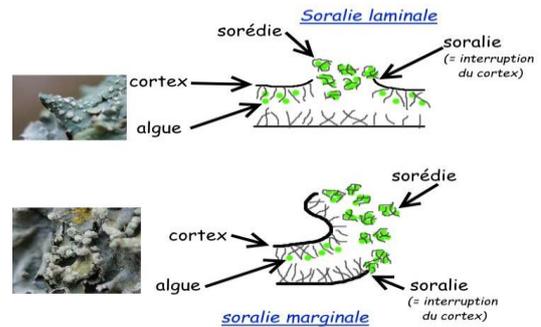


Figure 5 : schéma de soralie des lichens

1.6.2. Multiplication sexuée

Les lichens se reproduisent au moyen de spores émises en grandes quantités par des organes spécialisés selon leur aspect, on distingue des formes plus ou moins ouvertes parmi lesquelles :

- **Les apothécies** : ont la forme d'un disque plus ou moins sillant à la surface du thalle
- **Les périthèces** : ont une forme de poche souvent enfoncés dans le thalle, et qui s'ouvre par un pore dans sa partie supérieure.

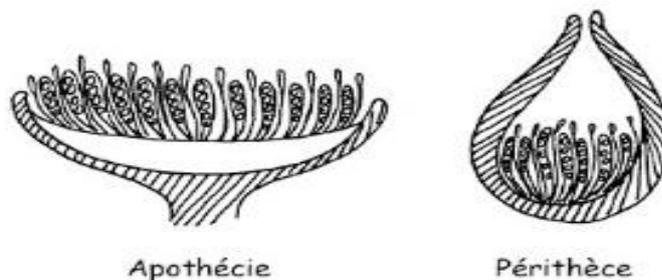


Figure 6 : Organes de reproduction sexuée des lichens

I.7. Naissance et croissance des lichens :

Il s'agit d'une naissance passant par deux phases : la germination et la reconstitution de complexe. Le début de la germination est marqué par un léger accroissement de volume de la spore puis par la sortie de tubes germinatifs siphonnés à parois minces. En un à trois jours les tubes commencent à s'étendre, ils forment des hyphes en se cloisonnant et se ramifiant. En milieu humide, le champignon trouvera plus facilement des algues, si ces filaments ne rencontrent pas l'algue, le champignon est incapable de synthétiser ses produits carbonés, consomme les réserves de la spore et meurt. Par contre, si ces les hyphes prennent contact avec une cellule algale, ce contact peut induire le développement des deux végétaux symbiotes (**Trotet, 1968**).

1.8. Croissances des lichens

Les lichens croissent extrêmement lentement (environ 0,1 mm par année chez certaines espèces de l'Arctique, de 5 à 8 mm par année chez les espèces des régions tempérées). Les lichens poussent des tropiques à la toundra et s'adaptent à de nombreux matériaux ou substrats. Il en existe environ 15 000 espèces dans le monde.

Ils sont plus voyants dans les régions froides : sur les cimes exposées des montagnes, dans les forêts boréales de conifères et dans la toundra arctique. Dans les forêts subalpines des montagnes de l'Ouest et dans certaines forêts boréales, les lichens recouvrent complètement les branches des épinettes et des sapins. Dans les prairies, des espèces aux couleurs vives envahissent le sol dénudé et recouvrent les blocs erratiques. De grandes colonies mixtes de lichens Fruticuleux croissent souvent sur les sols minces ou sablonneux. Certains lichens, propres aux rochers côtiers, décorent de bandes orange, blanches et noires, le flanc des rochers battus par les vagues, exposant ainsi la particularité de certaines espèces correspondant aux différentes zones supra littorales ou de marée.

1.9. Physiologie des lichens

L'organisme lichénique présente des propriétés que ne possèdent pas, du moins à un tel degré, l'un ou l'autre de ses constituants. Les lichens ont le pouvoir de passer rapidement réversiblement et répétitivement de l'état hydraté et actif à l'état sec et quiescent (**Ozenda, 2000**). Les lichens respirent encore à -10 C° et assimilent encore à -40 C° (**Trotet, 1968**). Les lichens ont une teneur en eau très faible (2 à 10 % du poids sec du lichen), s'ils se dessèchent il y a une diminution de la photosynthèse. L'absorption de l'eau se produit surtout au niveau des ouvertures dans le cortex ou des structures arachnoïdes quand elles sont externes. Le stockage

se fait dans les méats entre les éléments du thalle ainsi que dans les membranes qui gonflent. Mais c'est surtout au niveau de la zone médullaire que la teneur en eau est la plus forte. Le mécanisme de l'absorption et de la rétention de l'eau est essentiellement dû à des forces physiques ou aux caractères hygroscopiques des substances membranaires. Les constituants membranaires sont différents pour l'algue et le champignon. Ce sont essentiellement la cellulose externe doublée par une couche interne de callose pour les algues. La membrane des hyphes de champignon est caractérisée par l'absence de cellulose et la présence constante de callose et de chitine. D'autres substances voisines des hémicelluloses ont été observées ainsi que des substances groupées sous le nom de lichénine de formule brute. Les lichens possèdent également un équipement enzymatique et vitaminique. Les enzymes sont entre autres une lichénase et une maltase. Les vitamines sont produites par les deux symbiotes et jouent un rôle important dans le métabolisme. La vitamine C est produite en quantité appréciable avec d'autres vitamines du groupe B (biotine, riboflavine, acide folique ...) (Coste, 2011).

I.10. Lichens et leur écologie

Les lichens ont colonisé presque tous les milieux depuis les roches maritimes jusqu'aux plus hautes altitudes, il n'y a guère qu'en haute mer, dans les zones fortement polluées et sur les tissus animaux vivants qu'ils font défaut. Le développement de chaque espèce nécessite des conditions écologiques particulières déterminées par les types de supports, les facteurs climatiques et les relations avec les autres êtres vivants.

I.11. Types de support

- a. **Influence des facteurs climatiques** : l'atmosphère constitue un ensemble de facteurs très importants car elle apporte une partie d'eau, du dioxyde de carbone et des sels minéraux utilisés par les lichens : (Fenichi et Mimoune, 2009)
- **Eau** : l'eau joue un rôle capital dans l'écologie des lichens car le degré d'hydratation du thalle. Conditionne les fonctions fondamentales, certains organismes peuvent passer rapidement de l'état de vie active quand ils sont humides à l'état de vie ralentie quand ils sont secs et inversement. A l'état sec, la teneur en eau est évaluée entre 15 et 20% du poids sec, alors qu'à l'état humide, la teneur peut atteindre 200 à 350%. L'imbibition par l'eau liquide se réalise en un temps inférieur à 1 à 2 min alors que l'absorption de la vapeur est plus lente et demande parfois plusieurs semaines, inversement la dessiccation

qui s'effectue très rapidement. A l'état sec, les échanges gazeux sont pratiquement impossibles à déceler, mais dès que les lichens sont humidifiés, la respiration et la photosynthèse reprennent très rapidement. Certains lichens supportent une certaine salinité atmosphérique et s'installent dans la zone des embruns.

- **Lumière et température** : la lumière agit sur la photosynthèse et sur l'excédent possible de celle-ci et sur la respiration. Certains lichens préfèrent les stations éclairées et supportent le plein ensoleillement. En revanche, certains recherchent les stations plus ombragées, par exemple, sous couvert forestier ou pour les lichens saxicoles, les parois rocheuses.

Quand ils sont secs, les lichens sont très résistants aux températures extrêmes. En haute altitude, les lichens peuvent supporter de longues périodes de très basses ou de très fortes températures. La répartition de certaines espèces est conditionnée par les variations de température sur une longue durée.

- **L'action du vent** : elle s'effectue de deux façons, soit par une action directe mécanique, qui joue un rôle dans la dissémination des fragments de thalle et des propagules de multiplication végétative ou encore une action indirecte physiologique, qui se traduit par l'augmentation de la vitesse de déshydratation.

b. action des animaux et de l'homme : les animaux et l'homme occasionnent la fragmentation des thalles au sol par le piétinement et la modification chimique du milieu par l'enrichissement en ammoniacale, nitrates, etc. l'homme lui-même joue un rôle particulier, soit par la création de nouveaux substrats (murs, mortiers, ciment, tuiles, etc.) où peut s'installer une flore lichénique spécifique ou encore par la perturbation du climat (dessèchement de l'atmosphère, augmentation de la température ambiante, pollution par des poussières, etc.), mais aussi en supprimant des stations favorables à l'installation des lichens (forets reculant devant le défrichage, haies et arbres détruits par l'extension des villes, pelouses sèches, etc.).

1.12. Usages des lichens :

Les lichens ont été utilisés depuis l'Antiquité comme plantes médicinales et pour de multiples autres usages alimentaires ou artisanaux comme :

- **Usages alimentaires :** certains lichens contiennent des macromolécules de lichénine dégradé en glucoses au cours de la digestion. Ils peuvent également être utilisés pour l'alimentation de bétail. D'autres lichens sont utilisés pour l'alimentation humaine.
- **Usages médicaux :** certains lichens sont utilisés en homéopathie pour la fabrication de sirop et pastilles, d'autres sont capables de donner des antibiotiques particulièrement actifs à des doses très faibles contre les bactéries GRAM+. Les métabolites secondaires lichénique peuvent intervenir au niveau de l'activité de la tyrosinase et sur la quantité de mélanine produite.
- **Usages industriels :** à l'échelle industrielle, les lichens ont longtemps été utilisés pour leurs intérêts en parfumerie ou en teinturerie. En parfumerie, les deux types de mousses de certains arbres et de chêne servent de fixateur et apportent une note boisée (**Joulain, 2009**). Certains lichens sont utilisés pour la fabrication artisanale de matières colorantes telles que le jaune, le vert et le rose (**Gisclard, 2003**).
- **Bioindication :** la partie champignon des lichens pompe et filtre tout ce qui se trouve dans l'atmosphère. Les lichens fixent et concentrent la plupart des polluants atmosphériques. La sensibilisation à la pollution est variable en fonctions des espèces (étudier les concentrations des différents types de polluants atmosphériques), elles évaluent le degré de la pureté de l'atmosphère, en quantifiant les polluants tels que le plomb, le fluor, les radioéléments, etc. présents dans une atmosphère donnée. D'autre part les lichens terricoles permettent de déterminer les propriétés chimiques des sols. En effet, leur fixation sur le sol permet sa stabilisation (**Ozenda et Clauzade, 1970**).

II. Lichens et la pollution atmosphérique

Le choix des lichens comme bio-indicateurs s'explique par de nombreuses particularités notamment par quelques différences fondamentales avec les végétaux supérieurs. Les lichens ne possèdent pas de racines pour puiser leur nourriture, mais des filaments fixateurs (rhizines) avec lesquels ils s'accrochent à leur support. Dans cette situation, seuls l'air, le vent, la pluie et le brouillard leur apportent les éléments minéraux et l'eau nécessaires à leur croissance. Les lichens absorbent indistinctement, par leurs Pseudocyphelles l'ensemble des substances qui leur parviennent, les substances nutritives tout comme les substances qui leur sont toxiques. Ainsi, dans un environnement où l'air est pollué, les lichens sont particulièrement exposés à la pollution et ils en subissent les effets (diminution de l'activité photosynthétique, modification des voies métaboliques, etc.). Les lichens sont des végétaux dont l'activité est continue quelle

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

que soit la saison car ils sont capables de réaliser la photosynthèse à des températures inférieures à -10°C . En hiver, ils sont alors soumis à une pollution très importante résultant de l'augmentation des émissions de polluants (entre autres par le chauffage domestique). Cette activité hivernale est un élément essentiel permettant d'expliquer leur sensibilité à la pollution atmosphérique.

Les lichens ont un métabolisme lent (car la proportion d'algues est très faible) qui se traduit par une vitesse de croissance faible et par une longévité qui permet de suivre l'évolution de la pollution d'ailleurs certains lichens peuvent vivre plus de 100 ans. Les mesures par l'observation des lichens seront très différentes de celles réalisées par des méthodes chimiques. En effet, contrairement aux mesures biologiques, les mesures chimiques sont ponctuelles, elles ont lieu à un endroit précis, à un moment donné. Elles sont également plus précises pour analyser un type de polluant et la quantité de chacun des polluants testés. Toutefois, des variations dans le temps des facteurs de l'environnement se traduisent assez rapidement par des variations détectables de la végétation lichénique. Les lichens sont très diversifiés et leur sensibilité à divers polluants (ozone, métaux lourds, azote, etc.) est différente en fonction des espèces et leur inventaire peut fournir une réponse très nuancée aux divers agents polluants se trouvant dans l'air. Ceci implique une grande prudence dans l'interprétation des résultats.

Les méthodes biologiques sont intéressantes par leur simplicité, leur rapidité et leur coût nettement moins élevé que celui des méthodes chimiques. Les méthodes biologiques sont complémentaires des méthodes chimiques : en général, les deux méthodes sont conseillées pour évaluer la qualité d'un environnement avec précision. Les lichens ont un grand pouvoir d'accumulation. Ils accumulent de façon sélective des quantités très importantes de substances prélevées dans l'atmosphère comme le soufre, le plomb, le fluor, les éléments radioactifs, etc. Cette propriété permet d'utiliser les lichens comme bio-indicateurs d'une pollution spécifique. Il est à noter que les espèces crustacées, aux échanges faibles et à la croissance plus lente que les espèces foliacées et fruticuleuses, sont moins affectées par la pollution atmosphérique et résistent mieux à l'environnement industriel et urbain. Ainsi, lors d'une première observation de la flore lichénique d'un environnement, un premier diagnostic de la qualité de l'air peut être avancé en fonction des types de thalles majoritairement présents sur les troncs d'arbres.

II.1. Pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique recouvre un ensemble de phénomènes complexes et divers. La pollution peut être d'origine naturelle (éruptions volcaniques, ...) ou d'origine humaine (rejets des industries, des voitures, aérosols, ...).

Aux principaux constituants de l'atmosphère (tableau 1), viennent s'ajouter d'autres composés d'origine naturelle et/ou d'origine humaine tels que le dioxyde de soufre, l'acide fluorhydrique, l'acide chlorhydrique et l'acide sulfhydrique et les composés organiques volatils (COV). Certains de ces différents composés seront à l'origine des diverses pollutions atmosphériques. Les sources naturelles d'émission de polluants atmosphériques sont :

- Les volcans (lors des éruptions) diffusent les oxydes d'azote et du dioxyde de soufre ;
- Les océans et la décomposition biologique vont produire des oxydes d'azote et du dioxyde de soufre
- Les éclairs engendrent des oxydes d'azote ;
- Les feux de forêt vont émettre du dioxyde de soufre ;
- Les dégagements de gaz naturels issus des volcans ou de l'activité de certaines bactéries vont diffuser les acides fluorhydrique, chlorhydrique et sulfhydrique ;
- Les réactions chimiques avec les radiations solaires vont former l'ozone ;
- Les COV vont être constitués de particules salines provenant de la mer, de particules de terre (poussières) et de végétation (spores et grains de pollens,...), etc. La pollution de l'air due aux activités humaines concerne le même type de polluants et provient essentiellement de trois types d'activités à savoir les industries, les transports et le chauffage.

II.2. Biosurveillance concerne toute utilisation d'un organisme sensible à son milieu environnant pouvant faire état de ce dernier, soit par prélèvement direct depuis le milieu (biosurveillance passive), soit à travers la transplantation d'échantillons (biosurveillance active). Donc la biosurveillance, en s'efforçant de différencier les mécanismes biologiques (bioaccumulation et bioamplification) des outils de diagnostic environnemental (biointégration, bioindication, biomarqueage et bioaccumulation) (**Garrec et Van Haluwyn, 2002**) :

- **la biointégration** : est l'observation de changements structurels au niveau de la population/communauté en réponse à un stress environnemental. La biointégration peut

être considérée comme de la bioindication à un niveau supérieur (il y a en effet souvent confusion entre ces deux termes),

- **la bioindication** : est l'observation des réponses biologiques (morphologique, physiologique, tissulaire...) d'un organisme vivant (au niveau individuel) exposé à un contaminant,
- **le biomarquage** : est l'utilisation de marqueurs au niveau de la biologie structurale ou fonctionnelle (enzyme, physiologie, génétique...) indiquant une influence du milieu environnant sur les fonctions biologiques,
- **la bioaccumulation** : outre le mécanisme naturel par lequel une substance présente dans l'environnement s'accumule dans l'organisme (à ne pas confondre avec la bioamplification qui correspond à la concentration de ces substances d'un niveau trophique à l'autre), cette technique vise à déterminer les teneurs en éléments chimiques bioaccumulés depuis l'environnement (illustration de la qualité de l'environnement dans lequel croît cet organisme).

II.3. Biosurveillance par les lichens : les lichens représentent près de 6 % de la couverture terrestre (Nash, 2008). Capables de coloniser des milieux biogéographiquement très variés, jusqu'à des conditions les plus extrêmes dans lesquels aucun des deux partenaires de la symbiose ne s'accommoderait isolément. Ils jouent des rôles primordiaux pour les écosystèmes (comme la mise en place des sols). De ce fait, ils participent au transfert des éléments chimiques au sein des écosystèmes, et donc des cycles biogéochimiques, tant pour les éléments majeurs que pour les éléments traces.

III. Description de la zone d'étude

III.1. Situation géographique

Le jardin botanique du Hamma, situé au Nord-Est au fond de la baie d'Alger au niveau de la commune du Hamma, Daïra d'Hussein-Dey (**Figure. 7**), est un jardin luxuriant, qui s'étend en amphithéâtre, au pied du musée national des Beaux-Arts, de la rue Mohamed-Belouizdad à la rue Hassiba-Ben-Bouali, sur une superficie de 32 hectares. Sa situation géographique lui confère un climat exceptionnel et unique en Afrique du Nord.

III.2. Historique de la zone d'étude

Le jardin botanique du Hamma classé parmi les beaux jardins d'acclimatation au monde, a été créé en 1832 par le général Avisard à la fois comme ferme modèle et comme jardin d'essai, dans le but d'y développer la culture de végétaux utiles, des variétés étrangères adaptées aux sols et climat de l'Afrique du Nord.

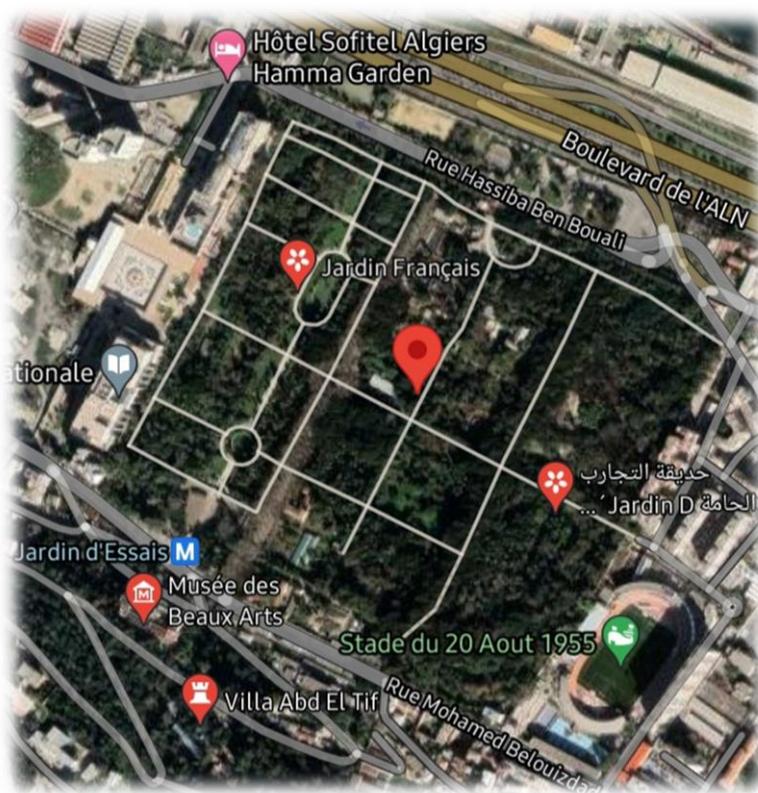


Figure 7 : situation géographique du jardin (Google Map Satellite).

III.3. Quelques missions du jardin

Les principales missions de ce jardin botanique sont la conservation des collections d'espèces exotiques existantes, le renseignement et la favorisation des connaissances relatives aux plantes, la conservation du patrimoine floristique national, la préservation de la flore locale auprès des visiteurs et l'organisation des journées et portes ouvertes sur les différents thèmes de préservation de la biodiversité.

III.4. Organisation spatiale du jardin

Le jardin d'essais est constitué de deux entités essentielles représentées par deux grands styles architecturaux distincts par leur composition botanique : le jardin français et le jardin anglais. Les périmètres du jardin sont délimités par des allées.

- a. **Jardin anglais** est situé au sud du jardin d'essai, il s'étend sur près de 3 hectares. Sa structure n'est pas linéaire est caractérisée par les contours des parcelles qui le composent et ceux des allées qui sont irrégulières. Il y a la présence d'un grand bassin où se développent des plantes aquatiques et des espèces animales comme les canards et les poissons.

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

b. **Jardin français** est situé à l'ouest du jardin d'essai, il s'étend de 7 hectares et 600 mètres de long, le jardin est caractérisé par son tracé régulier et symétrique au niveau des plantations, il est traversé par un axe longitudinal principal l'allée des Washingtonia la plus fréquentée par le public. Ce jardin présente deux grands bassins de forme classique et régulier.



Figure 8 : Jardin anglais.



Figure 9 : Jardin français.

III.5. Climat de la zone d'étude

L'étude du climat est indispensable pour analyser toutes les observations. Les principaux facteurs climatiques tels que les températures et les précipitations, jouent un grand rôle primordial en matière de régulation, de protection ou de dégradation des différents écosystèmes.

Les données climatiques de notre zone d'étude nous ont été fournies par l'ONM (Office Nationale de la Météorologie) de Dar El-Beida, Alger (2006-2015).

a. Pluviométrie

Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 661,6 mm avec un maximum observé au mois de novembre et un minimum observé au mois de Juillet (**Figure. 10**).

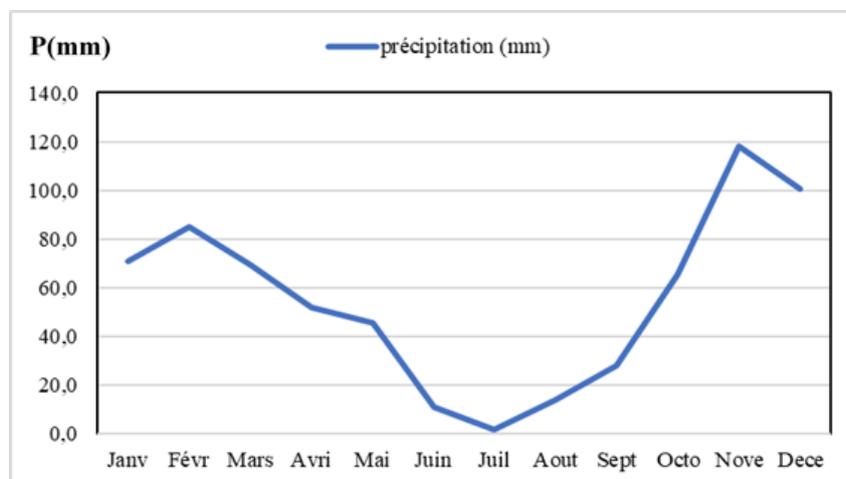


Figure 10 : Evolution des précipitations moyennes mensuelles de la région d'Alger (2006-2015).

b. Température

La température moyenne annuelle est de 19.1°C, les températures maximale et minimale sont de 26.5 °C et 11.5 °C respectivement. Les températures les plus basses ont été enregistrées aux mois de décembre, janvier et février avec des valeurs respectives de 4°C, 3°C et 1°C. Quant aux températures les plus élevées, elles ont été enregistrées aux mois de juillet et août avec 18 °C et 20°C respectivement. (**Figure. 11**).

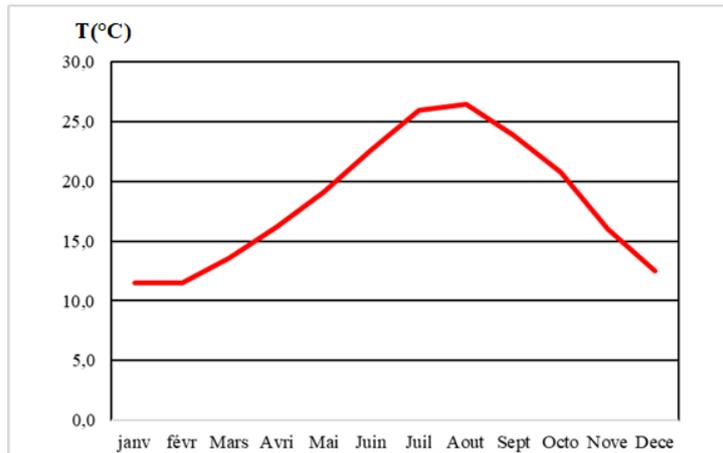


Figure 11 : Evolution mensuelle des températures moyennes de la région d'Alger (2006-2015).

c. Diagramme Ombrothermique

Le diagramme ombrothermique permet de signifier et localiser les périodes sèches et humides d'une région donnée. Il en ressort que la période sèche s'étale du mois de Mars jusqu'à mi-Octobre et une période humide qui s'étend sur le reste des mois de l'année (**Figure. 12**).

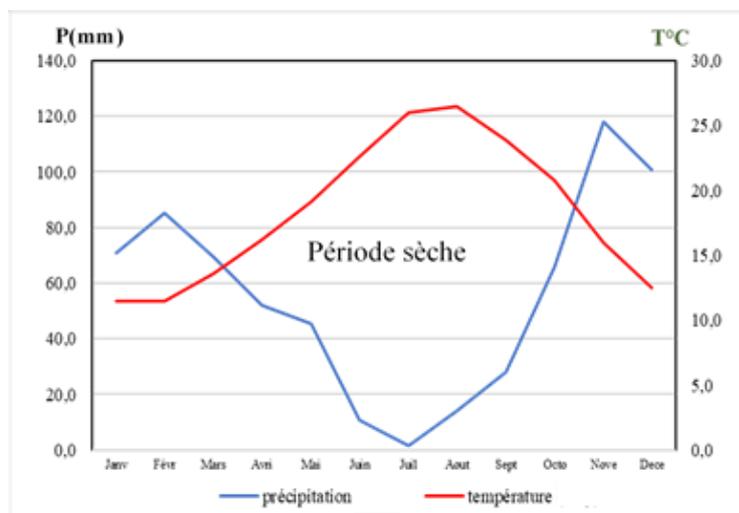


Figure 12 : Diagramme Ombrothermique relatif à la ville d'Alger.

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

d. Etage bioclimatique

Le climagramme d'Emberger permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une zone donnée.

Il est déterminé à travers le quotient d'Emberger : $Q_2 = 2000 * P / (M^2 - m^2)$

P : précipitation annuelle moyenne (mm) ;

M : Température maximale du mois le plus chaud en (°K) ;

m : Température minimale du mois le plus froid en (°K).

Notre zone d'étude est située dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver chaud ($Q_2=130.06$, $m=11.5$ °C) (**Figure. 13**).

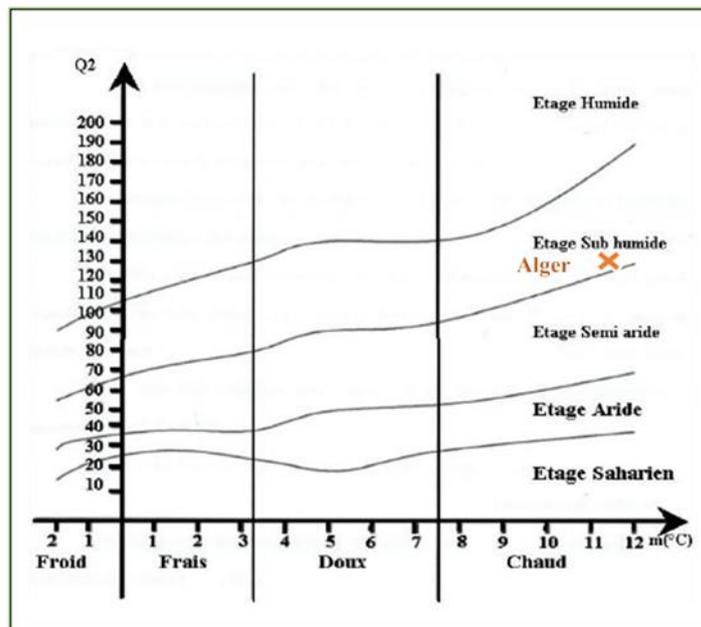


Figure 13 : Position de la région de la wilaya d'Alger sur le climagramme d'Emberger.

e. Le vent :

Le vent est une force physique régissant les courants, il est caractérisé par sa vitesse et sa direction. Il présente une action directe sur le couvert végétal comme il peut influencer l'humidité du climat. (**Lacoste et Salanon, 2001**).

Le vent joue un rôle important dans la dissémination des spores des lichens plus exactement des champignons et algues qui les constituent. Il joue également un rôle dans le dessèchement de l'air qui provoque des déchirures de la surface supérieure du thalle. (**Hammou, 2015**).

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

La vitesse maximale de vent enregistrée est de 11.4 m/s alors que la vitesse minimale est de 8.9 m/s. (Figure. 14).

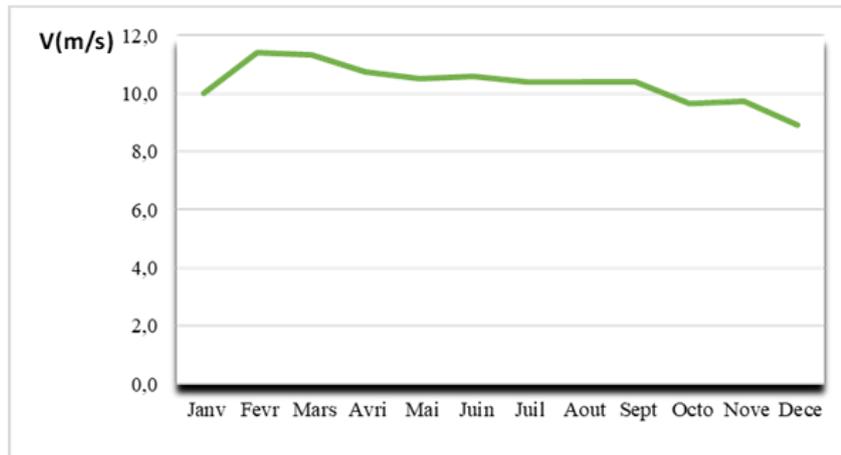


Figure 14 : Vitesse moyenne mensuelle enregistrée durant la période (2006-2015). Station météorologique de Dar El-Beida, Alger.

A horizontal rectangular area with a green, textured brushstroke background, centered on the page.

Partie II :
Matériel et méthodes

Notre présent travail porte sur l'estimation de la qualité de l'air à travers des bioindicateur à savoir les lichens au sein du jardin botanique du Hamma pendant la période printanière de l'année en cours.

Plusieurs sorties de prospection ont été effectuées afin de choisir les sites à échantillonner. Le prélèvement des échantillons a été réalisé sur des troncs d'arbre au niveau de 44 stations (côté français) et 55 stations (coté anglais).

La partie pratique a été réalisée au niveau du laboratoire de la station expérimentale (BPE) de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Blida 01.

I. Matériel et Méthodes

I.1. Matériel

Pour apprécier la qualité de l'air du jardin d'essai du Hamma, nous avons utilisé la bioindication par les lichens corticoles ou épiphytes. Cela est dû à leur présence à longueur d'année dans leur environnement et à leur capacité à vivre plusieurs centaines d'années, en plus d'être d'excellents indicateurs vitaux de la pollution de l'air.

Le principal matériel utilisé sur le terrain est le suivant :

- Une loupe de terrain ;
- Le plan du jardin ;
- Un pulvérisateur d'eau pour imbiber les lichens ;
- Une grille en plastique transparente de 20 cm × 50 cm (10 carreaux) ;
- Un couteau pour le prélèvement des lichens ;
- Des enveloppes en papier pour conserver les lichens prélevés ;
- La clé de détermination (**Kirschbaum et Wirth, 1997**) ;
- Les fiches de relevé ;
- Une boussole ;
- Appareil photographique.



Figure 15 : Matériel utilisé sur le terrain.

I.2. Méthodes

a. Choix de la méthode d'étude

Nous avons utilisé la méthode IPA de **Leblanc et De Sloover (1970)**. C'est la méthode la plus adaptée pour évaluer la qualité de l'air en relation avec les polluants atmosphériques. Cette méthode donne une estimation de la pollution atmosphérique globale, en se basant sur les données quantitatives (nombre d'espèces, la fréquence, le recouvrement) de la flore lichénique dans la région d'étude.

b. Choix du site d'étude

Nous avons choisi pour notre étude le jardin botanique du Hamma pour plusieurs raisons. En effet, ce jardin botanique constitue un élément essentiel d'esthétique et d'amélioration du cadre de vie de la ville d'Alger en raison des avantages qu'il procure et des fonctions qu'il génère qui font de ce dernier un poumon de la ville d'où l'importance de la qualité de son air. De plus, notre choix a été motivé par l'accessibilité à ce jardin notamment en période de confinement lié à la pandémie de la Covid 19 et sa localisation.

c. Localisation de la zone d'étude

Le jardin botanique, se situe au fond de la baie d'Alger dans la commune du Hamma

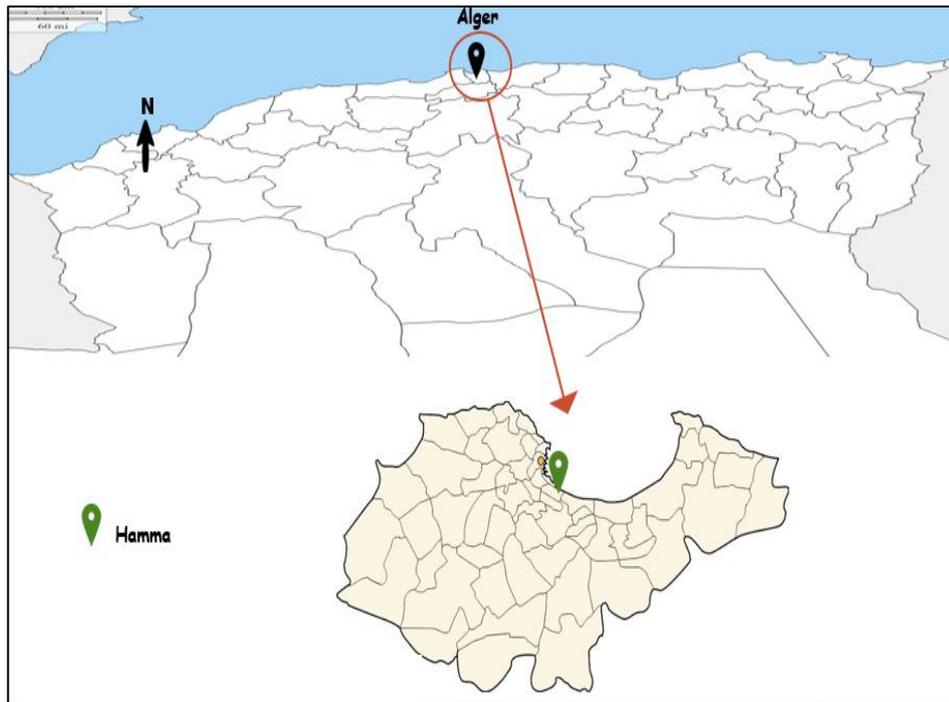


Figure 16 : Localisation de jardin botanique du Hamma.

d. Choix des stations d'étude

Le jardin botanique a été subdivisé en deux parties, la première partie correspond au jardin français et la deuxième partie correspond au jardin anglais. Un maillage a été effectué afin d'effectuer l'échantillonnage (**Fig 17**).

- Pour le jardin français, le maillage effectué consiste à subdiviser le jardin en onze rangées horizontales (de 1 à 11) et quatre (4) rangées verticales nommées de A à D allant de la direction nord du jardin vers la partie sud.
- Pour le jardin anglais, le maillage effectué consiste à subdiviser le jardin en onze rangées horizontales (de 1 à 11) et cinq (5) rangées verticales nommées de E à I allant de la direction nord du jardin vers la partie sud.



Figure 17 : maillage du jardin botanique du Hamma pour l'échantillonnage

Quarante-quatre (44) stations au total dans le jardin français ont été obtenues par ce maillage. Cependant certaines stations sont dépourvues de phorophytes. Il s'agit des stations (B11, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, D11)

Quant au jardin anglais, cinquante-cinq (55) stations ont été obtenues dont 6 stations sont dépourvues de phorophytes, il s'agit des stations : G4, G6, G8, H2, H7 et H9 en raison de la présence des infrastructures existantes au sein de ce jardin.

e. Choix des phorophytes

Le choix des phorophytes (arbres) au sein de la station a été fait suivant un certain nombre de critères indiqués dans la littérature à savoir **Ghennem (2011)** :

- Choix de 06 arbres (si possible de la même espèce) répartis de façon homogène
- Le tronc ne doit pas être incliné
- Non influencées par le regroupement des arbres
- Absence de facteurs évidents de perturbation (être isolés).

En effet, un total de 186 phorophytes dans le jardin français, et 276 arbres dans le jardin anglais ont fait l'objet de notre présente étude. Toutes les informations liées à ces phorophyte comme : la date du prélèvement, le nom de l'espèce d'arbre, l'exposition du côté d'échantillonnage, le numéro de la station ont été inscrites sur la fiche de terrain.

I.3. Identification des lichens sur le terrain

Après avoir fait le choix du phorophyte, nous avons fait le tour de son tronc pour voir la face là où il y a le plus de lichens pour placer notre grille entre 1 m et 1,5 m du sol. Le tronc est ensuite pulvérisé avec de l'eau du robinet pour mieux voir les espèces lichéniques. Une fois la grille fixée sur le tronc à l'aide des punaises (**Figure 18**), les dix (10) unités de la grille sont attentivement observées une à une grâce à une loupe de terrain afin d'identifier les lichens présents dans chaque unité et ce à l'aide des clés de détermination. Les espèces de lichens présentes sont notées, leur recouvrement ainsi que leurs fréquences (**tableau I**) sur chaque arbre étudié. Les espèces non identifiées *in situ* ont été soigneusement prélevées à l'aide d'un cutteur en veillant au maximum à ne pas altérer l'écorce des arbres et conservées des enveloppes correctement renseignées (la date, le numéro de station, nom d'arbre, le numéro de l'unité) afin de les identifier au laboratoire (**Tableau**). Le même protocole est réalisé dans chacune des stations étudiées. (**Annexe I et II**).

Tableau I : Recouvrement des espèces lichénique



Fréquences	Recouvrement
1	(≤ 5%)
2	(5-25 %)
3	(26-50 %)
4	(51-75 %)
5	(≥ 75 %)

Figure 18 : Grille fixée sur le tronc d'un arbre

I.4. Identification des lichens au laboratoire

Au laboratoire, l'identification des lichens échantillonnés a été effectuée à l'aide d'une loupe binoculaire **Bentley VISION**. Les réactions de coloration de thalles ont été effectuées selon **Kirschbaum et Wirth (1997)** en utilisant hydroxyde de potassium « KOH » et l'hypochlorite de sodium «NaClO». (**Fig. 19**)

MATERIEL ET METHODE

Chaque espèce à identifier a été mise en contact avec une goutte du réactif et le changement de couleur des thalles observé à la loupe binoculaire permet d'identifier facilement l'espèce lichénique en utilisant la clé de détermination des lichens (**Tableau II**).

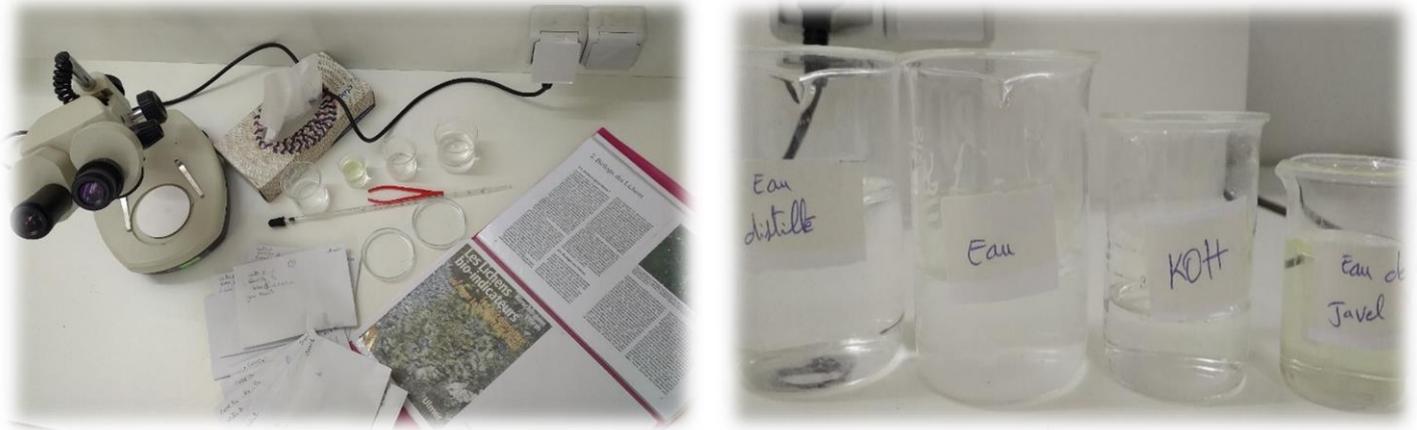


Figure 19 : le matériel utilisé dans le laboratoire

Tableau II : les réactions chimiques des lichens au contact des réactifs

Lichens	KOH	C	KOH+C
Réaction positive	K+	C+	KC+
Réaction négative	K-	C-	KC-

II. Traitement des données

II.1. Indice de la qualité de l'air (I.Q.A)

Pour chaque station, la fréquence moyenne de chaque espèce de lichens présente sur les six arbres étudiés est calculée. La somme des fréquences moyennes de chaque espèce donne l'Indice de Qualité de l'Air (I.Q.A).

6 zones de qualité de l'air corrélées à une échelle de couleur ainsi qu'une estimation de la pollution correspondante (d'après **Kirschbaum et Wirth, 1997**) : (**Fig 20**).

- Zone 1 = 0
- Zone 2 de 0 à 12,5
- Zone 3 de 12,5 à 25
- Zone 4 de 25 à 37,5
- Zone 5 de 37,5 à 50.

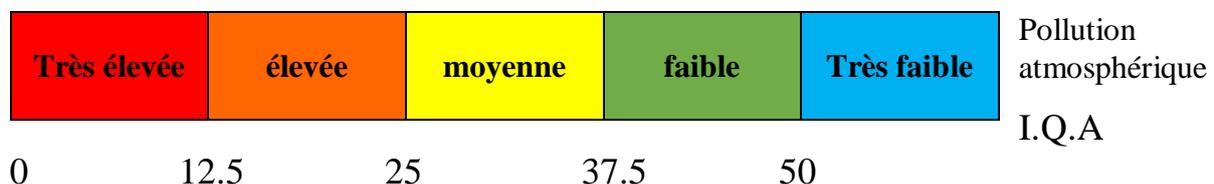


Figure 20 : Echelle d'évaluation de la qualité de l'air de **Kirschbaum et With (1997)**.

Plus l'indice obtenu est élevé, plus la pollution atmosphérique est faible, donc plus l'air est de bonne qualité.

II.2. Indice de pureté Atmosphérique (I.P.A)

En 1970, une approche floristique quantitative a été élaborée au Québec par **Leblanc** et **De Sloover** permettant la détermination d'un indice de pollution à partir de la flore lichénique : l'indice de pureté atmosphérique I.P.A.

Cet indice est calculé à partir du nombre et de la fréquence des espèces rencontrées dans une station, selon la formule suivante :

$$\mathbf{I.P.A = (1/10) \sum n_i Q_i.f_i}$$

n_i : nombre d'espèces

Q_i : l'indice écologique de chaque espèce

f_i : abondance de chaque espèce

Le coefficient (f_i) représente le recouvrement et la fréquence de l'espèce allant de 1 à 5.

(Tableau III).

Tableau III : Coefficient de recouvrement et de fréquence. (Berouanne, 2015).

Coefficients	Définition
1	Espèce très rare, très faible recouvrement
2	Espèce très peu fréquente, ou avec un faible recouvrement
3	Espèce peu fréquente, ou à recouvrement moyen
4	Espèce fréquente, ou à recouvrement très élevée sur quelques arbres
5	Espèce très fréquente, et à recouvrement très élevée sur la plupart des arbres.

Les valeurs d'I.P.A sont groupées en classes, chaque classe ayant une couleur qui lui est spécifique. Nous avons gardé l'amplitude des classes proposées par **Rahali (2003)** et aussi utilisés par **Ghennem (2011)** pour étudier la pollution atmosphérique dans notre zone d'étude.

Ce classement permet de grouper des I.P.A en cinq (5) zones correspondant à la qualité de l'air d'une région donnée nommée zone I à V comme montre le Tableau IV.

MATERIEL ET METHODE

Tableau IV : Zone d'isopollution et classes des I.P.A

Zone	Classes	Qualité de l'air	Couleur
I	$0 < \text{I.P.A} \leq 7$	Très mauvaise	Rouge
II	$7 < \text{I.P.A} \leq 14$	Mauvaise	Orange
III	$14 < \text{I.P.A} \leq 21$	Moyenne	Jaune
IV	$21 < \text{I.P.A} \leq 28$	Bonne	Verte
V	$28 < \text{I.P.A} \leq 35$	Très bonne	Cyan / Bleu

RAHALI (2003) et GHENNAM (2011).

Les résultats seront représentés sous forme de carte selon le maillage initialement utilisé pour l'échantillonnage représentant le territoire étudié. Les unités non colorées sur la carte correspondant aux stations où aucun relevé n'a été effectué.

A horizontal rectangular area with a green, textured background that looks like a brushstroke or watercolor wash. The text is centered within this area.

Partie III :
Résultats et discussion

I. Diversité lichénique

I.1. Identification des lichens

Après avoir déterminé les espèces lichénique à partir des caractères morphologiques sur le terrain, des tests chimiques ont été réalisées au laboratoire afin de confirmer et/ou identifier certaines espèces lichéniques. Le **tableau V** représente les différentes espèces lichéniques recensées dans notre zone d'étude.

Tableau V : Différentes espèces lichénique répertoriées au sein du jardin botanique du Hamma

Echantillon	Réactifs			Espèce lichénique
	Eau de javel « C »	KOH « K »	Mélange	
1	C-	K+ Rouge	KC-	<i>Xanthoria parietina</i>
2	C-	K+ Rouge	KC-	<i>Xanthoria polycarpa</i>
3	C-	K-	KC-	<i>Candelariella reflexa</i>
4	C-	K+ Rouge	KC-	<i>Xanthoria parietina</i>
5	C-	K+	KC-	<i>Diploicia canescens</i>
6	C-	K-	KC-	X (non identifiée)
7	C-	K-	KC-	<i>Candelariella reflexa</i>
8	C-	K+ Rouge	KC-	<i>Xanthoria polycarpa</i>
9	C-	K-	KC-	<i>Diploicia canescens</i>
10	C-	K+ Rouge	KC-	<i>Xanthoria polycarpa</i>
11	C-	K-	KC-	<i>Lepraria incana</i>

I.2. Classification des espèces

Dans les deux parties du jardin d'essai, quinze (15) espèces ont été trouvées au sein de l'ensemble des stations échantillonnées. La plupart des espèces identifiées ont un thalle crustacé (13 espèces) et deux (2) foliacés (*Xanthoria parietina* et *Xanthoria polycarpa*) (**tableau VI**).

Cependant, nous n'avons pu identifier une espèce nommée (X), bien qu'elle soit présente sur plusieurs phorophytes, son état relativement dégradé et sa surface très réduite ne nous ont pas permis de la reconnaître.

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau VI : Classification des lichens selon le type de thalle et la famille

Espèces	Type de thalles	Famille
<i>Phlyctis agelaea</i>	Crustacé	Phlyctidaceae
<i>Xanthoria parietina</i>	Foliacé	Teloschistaceae
<i>Xanthoria polycarpa</i>	Foliacé	Teloschistaceae
<i>Dirina ceratonia</i>	Crustacé	Roccellaceae
<i>Pertusaria hymenea</i>	Crustacé	Pertusariaceae
<i>Lecidella elaeochroma</i>	Crustacé	Lecideaceae
<i>Lecidella euphoria</i>	Crustacé	Lecideaceae
<i>Lecanora sienae</i>	Crustacé	Lecanoraceae
<i>Lecanora dispersa</i>	Crustacé	Lecanoraceae
<i>Graphis scripta</i>	Crustacé	Graphidaceae
<i>Caloplaca holocarpa</i>	Crustacé	Teloschistaceae
<i>Diploicia canescens</i>	Crustacé	Calciaceae
<i>X (non identifiée)</i>	Crustacé	/
<i>Candelariella reflexa</i>	Crustacé	Candelariaceae
<i>Lepraria incana</i>	Crustacé	Stereocaulaceae

I.3. Répartition des espèces en fonction de leur résistance à la pollution

En plus du type de thalle, les espèces retrouvées ont été aussi classées en fonction de leur résistance à la pollution ou par rapport à la qualité de l'air en utilisant les documents de référence utilisés lors de l'identification comme le guide de **Kirschbaum et Wirth (1997)**. De plus nous nous sommes aussi basés sur le travail de **Ghennem (2011)**.

Nous avons pu établir le (**tableau VII**) où les signes + ou – indiquent respectivement la résistance et la sensibilité à la pollution.

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau VII : Lichens présents et leur résistance à la pollution

Noms des espèces	Résistance à la pollution
<i>Phlyctis agelaea</i>	-
<i>Xanthoria Parietina</i>	+ + +
<i>Xanthoria polycarpa</i>	+ + +
<i>Dirina ceratonia</i>	+ + +
<i>Pertusaria hymenea</i>	+ +
<i>Lecidella elaeochroma</i>	+ + +
<i>Lecidella euphoria</i>	+ + +
<i>Lecanora sienae</i>	+ + +
<i>Lecanora dispersa</i>	+ +
<i>Graphis scripta</i>	++
<i>Caloplaca holocarpa</i>	+ + +
<i>Diploicia canescens</i>	+ + +
<i>Candelariella reflexa</i>	++
<i>Lepraria incana</i>	+ + +

+ : Espèce résistance à la pollution atmosphérique

- : Espèce sensible à la pollution atmosphérique

L'ensemble des espèces retrouvées sont résistantes à la pollution excepté *Phlyctis agelaea* qui est sensible à la pollution atmosphérique.

II. Diversité des phorophytes

Les lichens ont été retrouvés sur divers types d'arbre, l'ensemble des phorophytes étudiés est de l'ordre de 462 phorophytes avec un total de 30 espèces (**Tableau VIII**).

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau VIII : Espèces de phorophytes étudiés

Noms des phorophytes	Nombre d'arbres	Noms des phorophytes	Nombre d'arbres
<i>Kentia belmoriana</i>	50	<i>Cedrus deodara</i>	7
<i>Cupressus sempervirens</i>	11	<i>Podocarpus nerufolius</i>	11
<i>Yucca elephantips</i>	23	<i>Scheffler actinophylla</i>	3
<i>Phytolacca dioicia</i>	19	<i>Annona squamosa</i>	5
<i>Syagrus flexuosa</i>	24	<i>Eugenia michelli</i>	5
<i>Nerium oleander</i>	26	<i>Laurus nobilis</i>	7
<i>Ficus macrophylla</i>	77	<i>Schotia latifolia</i>	5
<i>Magnolia grandiflora</i>	6	<i>Fraxinus americana</i>	7
<i>Arecastrum romanzoffianum</i>	54	<i>Cocculus laurifolius</i>	10
<i>Washingtonia robusta</i>	31	<i>Pittosporum tobira</i>	4
<i>Cocus campestrus</i>	18	<i>Celtis occidentalis</i>	7
<i>Morus alba</i>	13	<i>Morus nigra</i>	13
<i>Feijoa sellowiana</i>	7	<i>Cocus nucifera</i>	9
<i>Cordia nodosa</i>	9	<i>Cyacus revoluta</i>	9
<i>Ficus religiosa</i>	4	<i>Chamaerops himilis</i>	11

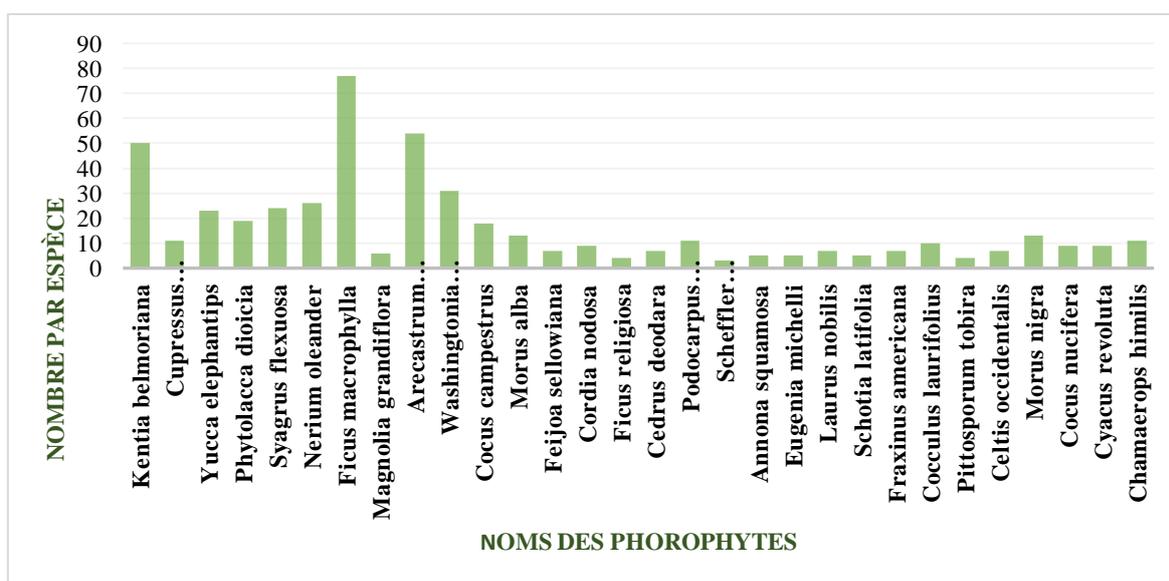


Figure 21 : Phorophytes échantillonnés.

RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Fréquence des espèces lichéniques recensés dans le jardin d'essai

Le (tableau IX) indique la dominance de l'espèce *Pertusaria hymenea* retrouvées sur 226 phorophytes, suivi de *Dirina ceratonia* présente sur 168 phorophytes, *Lecidella elaeochroma* avec 126 présences, *Phlyctis agelaea* avec 122 présences, et *Lecidella euphoria* et *Lecanora sienae* avec 56 présences et 43 présences respectivement, *Graphis scripta* avec 27 présences, *Xanthoria parietina* et *Diploicia canescens* avec 26 présences, *Xanthoria polycarpa*, et *Lepraria incana* ont été recensées sur 9 et 11 phorophytes respectivement.

Quant à *Lecanora dispersa*, *Caloplaca holocarpa* et *Candelariella reflexa*, il s'avère qu'elles sont les espèces les moins fréquentes avec 3, 2 et 2 présences.

Tableau IX : présence des lichens sur les phorophytes

Espèces lichénique	Nombre d'arbres sur lesquels l'espèce est présente
<i>Pertusaria hymenea</i>	226
<i>Dirina ceratonia</i>	168
<i>Graphis scripta</i>	27
<i>Lecidella elaeochroma</i>	126
<i>Lecidella euphoria</i>	56
<i>Phlyctis agelaea</i>	122
<i>Xanthoria parietina</i>	26
<i>Xanthoria polycarpa</i>	9
<i>Lecanora sienae</i>	43
<i>Lecanora dispersa</i>	3
<i>Caloplaca holocarpa</i>	2
<i>Diploicia canescens</i>	26
<i>X (non identifiée)</i>	10
<i>Candelariella reflexa</i>	2
<i>Lepraria incana</i>	11

III.2. Biodiversité lichénique

Nous avons pu recenser 15 espèces de lichens corticoles au cours de notre présente étude sur l'ensemble du jardin (**Fig 22**).

En ce qui concerne l'analyse de la biodiversité lichénique des deux parties française et anglaise du jardin botanique, nous avons procédé par comparaison de nos résultats à d'autres travaux antérieurs à savoir **Agumya et Imbula (2013)** pour le jardin français et **Akka et Azzi (2013)** pour le jardin anglais en plus des résultats de **Ghennem (2011)** ayant travaillé dans la région algéroise.

Nous remarquons que l'ensemble des espèces trouvées dans notre présente étude existe sur les listes des précédentes études à l'exception de *Xanthoria polycarpa*. Pour les espèces *Lecidella euphoria*, *Graphis scripta* et *Candelariella reflexa*, nous avons pu les recenser tout comme **GHENNAM (2011)** contrairement aux deux autres études suscitées effectuées au sein du jardin botanique du Hamma. (**Tableau X**).

RESULTATS ET DISCUSSION



Xanthoria parietina



Xanthoria polycarpa



Diploicia canescens



Dirina ceratonia



Dirina ceratonia



Lecidella elaeochroma



Lecidella euphoria



Lecanora dispersa



Phlyctis agelaea

Figure 22 : Espèces lichéniques recensées dans le jardin botanique du Hamma (2021)



Caloplaca holocarpa



Lecanora sienae



X (non identifiée)



Candelariella reflexa



Pertusaria hymenea



Lepraria incana

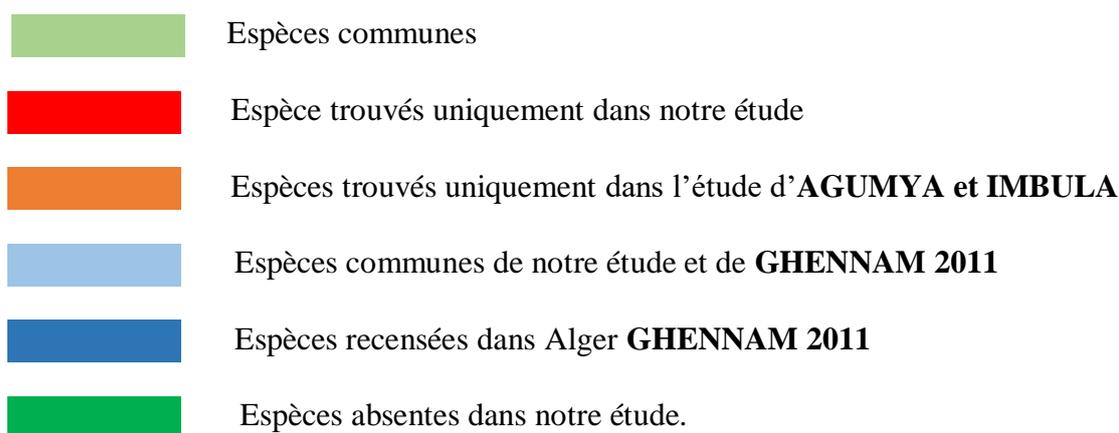
Figure 22 : Espèces lichéniques recensées dans le jardin botanique du Hamma (2021) (suite)

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau X : Comparaison de l'inventaire des lichens

Espèces	Notre étude 2021	GHENNAM 2011	AGUMYA et IMBULA (2013) Jardin Français	AKKA et AZZI (2013) Jardin Anglais
<i>Phlyctis agelaea</i>				
<i>Dirina ceratonia</i>				
<i>Pertusaria hymenea</i>				
<i>Xanthoria parietina</i>				
<i>Lepraria incana</i>				
<i>Lecidella elaeochroma</i>				
<i>Lecanora dispersa</i>				
<i>Lecanora sienae</i>				
<i>Lecidella euphoria</i>				
<i>Graphis scripta</i>				
<i>Xanthoria Polycarpa</i>				
<i>Diploicia canescens</i>				
<i>Hypocenomyce stoechadiana</i>				
<i>Lecanora chlarotera</i>				
<i>Opegrapha lichenoides</i>				
<i>Bacidia rebella</i>				
<i>Ramalina duriaei</i>				
<i>Lecantis patellarioides</i>				
<i>Hyperphysia adglutinata</i>				
<i>Schismatoma piconianum</i>				
<i>Pertusaria heterocroa</i>				
<i>Caloplaca cerina</i>				
<i>Caloplaca holocarpa</i>				
<i>Physcia adscendns</i>				
<i>Bacidia rubella</i>				
<i>Phaeophysia hirtusa</i>				
<i>Candelariella reflexa</i>				
<i>Ridonia roboris</i>				
<i>Physia tenella</i>				
<i>Bacidia naegelli</i>				
<i>Arthonia tumidula</i>				
<i>Physconia grisea</i>				
<i>Lecanora pulicaris</i>				
<i>Rinodina exigua</i>				
X (non identifiée)				

RESULTATS ET DISCUSSION



III.3. Spectre systématique

Les lichens recensés au cours de notre étude dans le Jardin botanique (jardin français et jardin anglais) se répartissent sur 11 familles. La (Fig 23) montre le Spectre systématique des lichens que nous avons rencontrés au niveau du jardin d'essai comparé à celui du GHENNAM (2011), Agumya et Imbula (2013) et Akki et Azzi (2013).

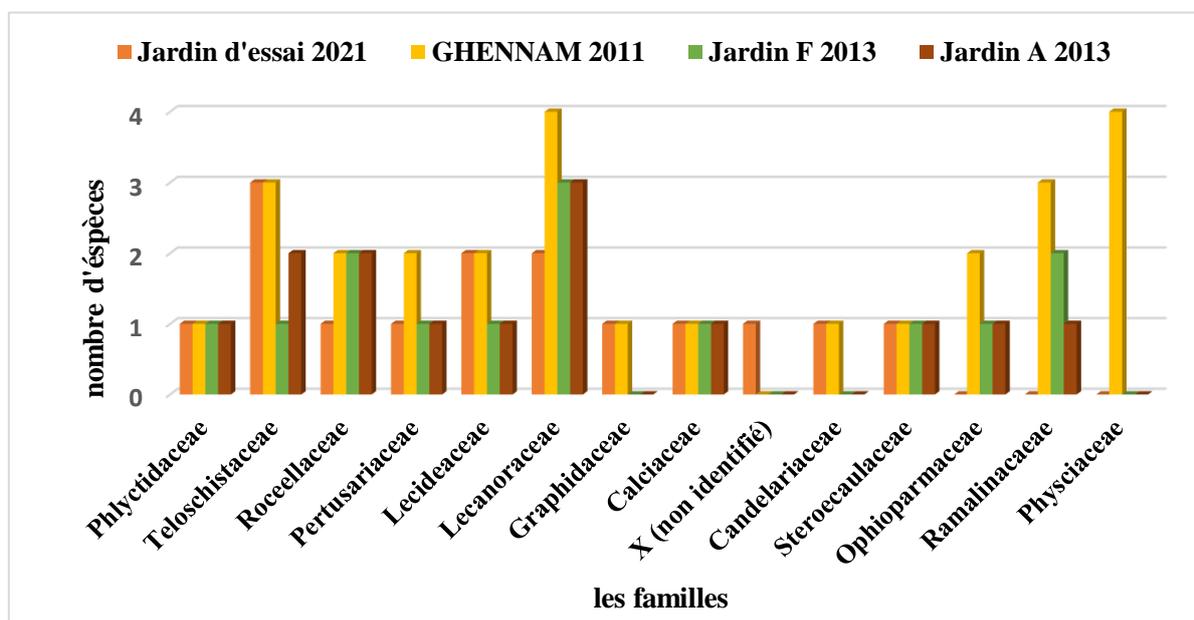


Figure 23 : Spectre systématique des espèces lichéniques

La famille *Lecanoraceae* est la plus représentée suivie des familles *Teloschistaceae*, *Roccellaceae* et *Lecideaceae*. Les familles *Stereocaulaceae*, *Calciaceae* et *Phlyctidaceae* ont été représentées par une seule espèce pour chaque famille à travers l'ensemble des stations

RESULTATS ET DISCUSSION

étudiées. Quant à *Graphidaceae* et *Candelariaceae*, elles ont été représentées par une seule espèce dans notre étude, ce qui concorde avec les résultats de **Ghennem (2011)**.

Nous avons également recensé deux (2) espèces pour les familles *Ophioparmaceae* et *Pertusariaceae* comme **Ghennem (2011)** et par une seule espèce pour les autres sites sauf que la famille *Ophioparmaceae* n'a pas été trouvée dans notre présente étude

III.4. Spectre physionomique :

Sur l'ensemble des espèces retrouvées dans le jardin botanique du Hamma, deux types physionomiques ont été observées à savoir les crustacés et les foliacés.

Le spectre (**Figure 24**) a été comparé avec les spectres physionomiques des **GHENNAM (2011)** (**Figure 25**), **AGUMYA et IMBULA (2013)** (**Figure 27**) et **AKKA et AZZI (2013)** (**Figure 26**).

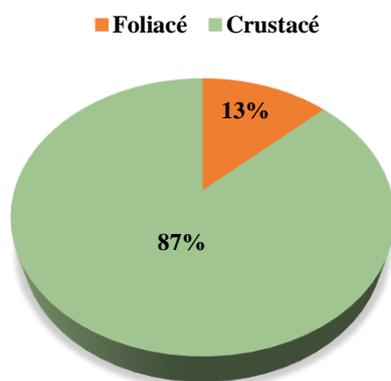


Fig 24 : Spectre physionomique des Lichens recensés dans le jardin d'essai (2021)

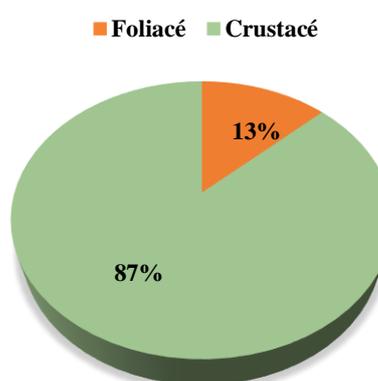


Fig 25 : Spectre physionomique de lichens GHENNAM (2011)

RESULTATS ET DISCUSSION

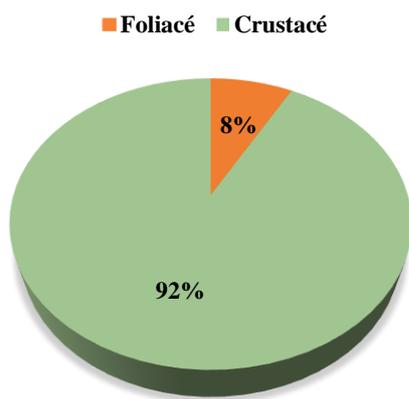


Fig 26 : Spectre physiologique des Lichens (Akka et Azzi 2013)

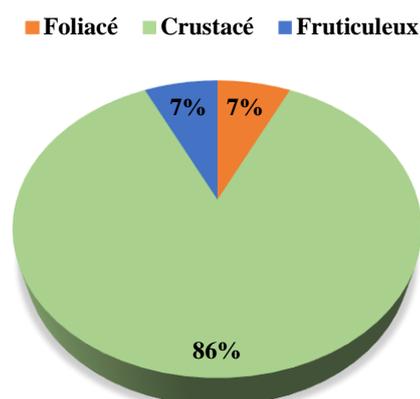


Fig 27 : Spectre physiologique des lichens (Agumya et Imbula, 2013)

Le spectre physiologique des lichens recensés montre une similarité de répartition des lichens aux thalles crustacés (87%) et foliacés (13%) pour notre étude dans le jardin d'essai et celle de Ghennem (2011) pour la région algéroise ainsi que pour le jardin anglais étudié par Akka et Azzi (2013) (92%) aux thalles crustacés et (8%) aux thalles foliacés.

Tandis que le jardin français Agumya et Imbula (2013) présente trois (3) types de lichens : les crustacés (86%), foliacés (7%) et les fruticuleux (7%).

IV.1. Résultats de l'Indice de la Qualité de l'Air (I.Q.A)

Dans le jardin français les valeurs de l'Indice de la Qualité de l'Air sont comprises entre 9,4 et 24 pour les 31 stations. Selon l'échelle de la qualité de l'air de Kirschbaum et Wirth (1997), les neuf (9) stations (A2, A3, A4, A9, A11, B3, B4, D1, et D10) sont caractérisées par une pollution très élevée. Alors que les autres stations subissent une pollution plus ou moins élevée (Tableau XI).

Tableau XI : Valeurs de l'I.Q.A dans les stations du jardin français

Les stations	Valeur d'I.Q.A	Pollution Atmosphérique	Les stations	Valeur d'I.Q.A	Pollution Atmosphérique
A1	15.1	Elevée	B6	13.1	Elevée
A2	10.5	Très élevée	B7	17.9	Elevée
A3	11	Très élevée	B8	16.5	Elevée
A4	11.2	Très élevée	B9	15.3	Elevée
A5	14	Elevée	B10	16.8	Elevée
A6	16.5	Elevée	D1	12	Très élevée

RESULTATS ET DISCUSSION

A7	17.2	Elevée	D2	14.2	Elevée
A8	15.6	Elevée	D3	20.7	Elevée
A9	9.8	Très élevée	D4	21.6	Elevée
A10	15.4	Elevée	D5	16.3	Elevée
A11	9.4	Très élevée	D6	18.4	Elevée
B1	18.5	Elevée	D7	24	Elevée
B2	16.9	Elevée	D8	18.6	Elevée
B3	10.4	Très élevée	D9	13.1	Elevée
B4	12.1	Très élevée	D10	12.3	Très élevée
B5	19.4	Elevée			

Concernant le jardin anglais, les valeurs de l'indice de la qualité de l'air varient entre 6,3 et 20,9 pour les quarante-six (46) stations étudiées.

Les stations (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11, F6, F7, F8, F9, G9, H8, I6, I9, et I11) sont caractérisées par une pollution très élevée, alors que les autres stations subissent une pollution plus ou moins élevée (**Tableau XII**).

Tableau XII : Les valeurs de l'I.Q.A dans les stations du jardin anglais

Les stations	Valeur d'I.Q.A	Pollution atmosphérique	Les stations	Valeur d'I.Q.A	Pollution atmosphérique
E1	8	Très élevée	G7	18.3	Elevée
E2	10.4	Très élevée	G9	8.8	Très élevée
E3	9.2	Très élevée	G10	15.4	Elevée
E4	7.4	Très élevée	G11	11.7	Très élevée
E5	7.8	Très élevée	H1	13.2	Elevée
E6	8.4	Très élevée	H3	20.9	Elevée
E7	7.7	Très élevée	H4	18.9	Elevée
E8	7.9	Très élevée	H5	13.6	Elevée
E9	6.3	Très élevée	H6	15	Elevée
E10	8.2	Très élevée	H8	9.9	Très élevée
E11	9.2	Très élevée	H10	20	Elevée
F2	16.4	Elevée	H11	12.6	Elevée
F3	12.9	Elevée	I1	14.1	Elevée

RESULTATS ET DISCUSSION

F6	11.1	Très élevée	I2	14.1	Elevée
F7	11.2	Très élevée	I3	12.5	Elevée
F8	10	Très élevée	I4	12.4	Très élevée
F9	7.2	Très élevée	I5	13.8	Elevée
F10	12.8	Elevée	I6	10.3	Très élevée
F11	12.3	Très élevée	I7	12.5	Elevée
G1	16.7	Elevée	I8	19.9	Elevée
G2	17.8	Elevée	I9	10.2	Très élevée
G3	19.3	Elevée	I10	13.2	Elevée
G5	13.2	Elevée	I11	9.5	Très élevée



Figure 28 : Représentation cartographique de l'I.Q.A sur le plan du jardin botanique du Hamma

IV.2. Résultats de l'Indice de la pureté de l'Air (I.P.A) :

L'indice de la pureté de l'air l'I.P.A est calculé selon la méthode de Leblanc et Sloover (1970), et l'indice écologique (Qi) qui est déterminé empiriquement à partir de la somme d'espèces par le nombre total de sites. (Yannick A. 2013)

RESULTATS ET DISCUSSION

a. Jardin français

Le tableau XIII représente les valeurs d'I.P.A obtenus pour les 31 stations

Tableau XIII : les valeurs d'I.P.A des stations de jardin français

Les stations	Valeur d'I.P.A	Les stations	Valeur d'I.P.A	Les stations	Valeur d'I.P.A
A1	18.23	B1	27.62	D2	26.2
A2	17.96	B2	26.65	D3	26.78
A3	22.64	B3	14.76	D4	30.02
A4	15.69	B4	17.85	D5	20.6
A5	15.51	B5	23.56	D6	21.19
A6	23.95	B6	14.58	D7	30.59
A7	24.57	B7	24.68	D8	21.16
A8	24.61	B8	21.36	D9	20.21
A9	34	B9	18.56	D10	17.87
A10	15.87	B10	23.8		
A11	12.18	D1	23.07		

Les valeurs d'I.P.A oscillent entre 12.18 à 34. La valeur maximale (34) a été trouvée dans la station A9 cependant les stations A4, A5, A10, A11, B3 et B6 représentent les faibles valeurs. Nous avons retenu les mêmes zones d'I.P.A proposées par **RAHALI (2003)** et utilisé par **GHENNAM (2011)**, donc une (1) seule station dans la zone II (A11) est par conséquent caractérisée par une mauvaise qualité de l'air et douze (12) stations dans la zone III (A1, A2, A4, A5, A10, B3, B4, B6, B9, D5, D9, D10) et donc une qualité d'air moyenne. De plus, quinze (15) stations ont été trouvées dans la zone IV (A3, A6, A7, A8, B1, B2, B5, B7, B8, B10, D1, D2, D3, D6, D8) avec une bonne qualité de l'air et enfin trois (3) stations dans la zone V (A9, D4, D7) avec une très bonne qualité d'air (**Tableau XIII**).

RESULTATS ET DISCUSSION

b. jardin anglais

Le **tableau XIV** représente les valeurs d'I.P.A obtenus pour les 46 stations.

Tableau XIV : les valeurs d'I.P.A des stations de jardin anglais

Les stations	Valeur d'I.P.A	Les stations	Valeur d'I.P.A	Les stations	Valeur d'I.P.A
E1	13.06	F9	8.41	H8	19.26
E2	11.91	F10	12.64	H10	23.79
E3	12.12	F11	18.28	H11	14.26
E4	6.01	G1	17.69	I1	18.95
E5	9.32	G2	23.72	I2	21.26
E6	7.39	G3	22.03	I3	16.45
E7	9.72	G5	21.7	I4	9.89
E8	8.79	G7	20.49	I5	16.52
E9	6.26	G9	16	I6	16.21
E10	10.99	G10	22.37	I7	12.69
E11	11.33	G11	17.68	I8	14.95
F2	21.52	H1	17.5	I9	16.96
F3	19.94	H3	26.6	I10	15.83
F6	15.22	H4	19.96	I11	16.61
F7	19.79	H5	17.48		
F8	13.29	H6	14.63		

Les valeurs d'I.P.A varient entre 6.01 et 26.6. La valeur maximale (26.6) a été enregistrée dans la station H3, donc les stations E4, E5, E6, E7, E8, E9, F9, et I4 présentent des valeurs faibles.

RESULTATS ET DISCUSSION

Nous avons trouvé deux (2) stations dans la zone I (E4, E9) caractérisées par une très mauvaise qualité de l'air, quinze (15) stations (E1, E2, E3, E5, E6, E7, E8, E10, E11, F8, F9, F10, G5, I4, I7) dans la zone II avec une mauvaise qualité de l'air. Ensuite (21) stations dans la zone III (F3, F6, F7, F11, G1, G9, G11, H1, H4, H5, H6, H8, H11, I1, I3, I5, I6, I8, I9, I10, I11) avec une qualité de l'air moyenne et enfin huit (8) stations (F2, G2, G3, G7, G10, H3, H10, I2) dans la zone IV avec une bonne qualité de l'air (**Tableau XV**).

Tab XV : Nombre de station du jardin français et anglais par zone et par classe d'I.P.A

Zones	Classe des I.P.A	Qualité de l'air	couleur	Nombres des stations (jardin français)	Nombres des stations (jardin anglais)
I	(0-7)	Très mauvaise	Rouge	0	2
II	(7-14)	Mauvaise	Orange	1	14
III	(14-21)	Moyenne	Jeune	12	22
IV	(21-28)	Bonne	Vert	15	8
V	(28-35)	Très bonne	Bleu/Cyan	3	0

Nous avons représenté les valeurs d'I.P.A sur le plan du jardin d'essai du Hamma en utilisant la charte graphique des couleurs de **Van Haluwyn (2002)**. Donc on a attribué la couleur rouge aux stations appartenant à la classe des I.P.A comprise entre 0 et 7 (zone I), l'orange aux stations de la classe situées entre 7 et 14 (zone II), le jaune à la classe allant de 14 à 21 (zone III) et la couleur verte à la classe allant de 21 à 28 (zone IV) et enfin et pour la classe allant de 28 à 35 (zone V) une couleur bleue (**Figure 29**).

RESULTATS ET DISCUSSION

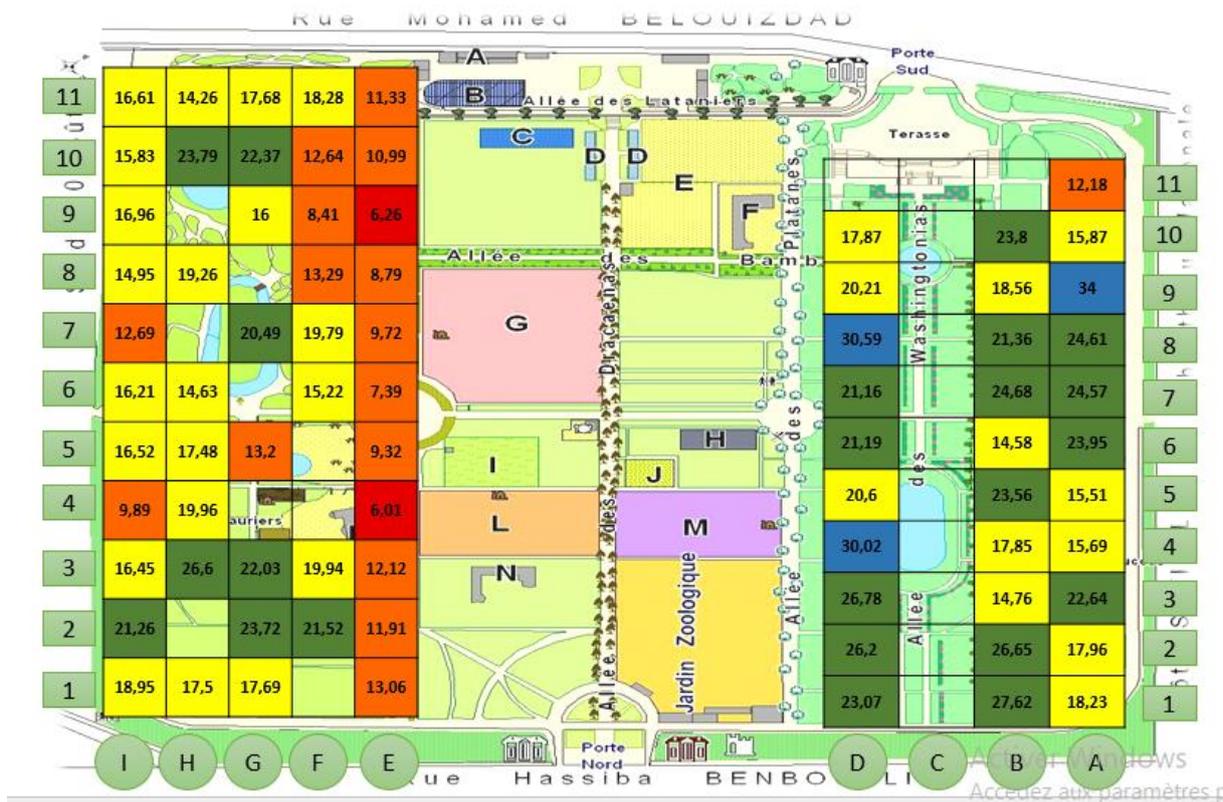


Fig 29 : Représentation graphique de zonage des I.P.A sur le plan du jardin d’essai du Hamma

Légende :

- I.P.A classe : (0-7), zone I
- I.P.A classe : (7-14), zone II
- I.P.A classe : (14-21), zone III
- I.P.A classe : (21-28), zone IV
- I.P.A classe : (28-35), zone V.

Dans notre présente étude, les stations du jardin français ont été classées en quatre (4) zones, les zones II, III, IV, et V à, savoir :

Zone II : $7 < \text{I.P.A} \leq 14$ (orange) = 2%

Zone III : $14 < \text{I.P.A} \leq 21$ (jaune) = 27%

Zone IV : $21 < \text{I.P.A} \leq 28$ (vert) = 34%

Zone V : $28 < \text{I.P.A} \leq 35$ (bleu) = 7%

RESULTATS ET DISCUSSION

En effet, 30% représentent les stations non colorées sous maillage, ces stations correspondent aux stations non échantillonnées (**Figure 30**). Cependant, ce même jardin a été classé en deux (2) zones, la zone I et II selon l'étude de **Agumya et Imbula(2013)** avec des pourcentages :

Zone I : $0 < \text{I.P.A} \leq 7$ (Rouge) = 38.6%

Zone II : $7 < \text{I.P.A} \leq 14$ (orange) = 34.1% (**Figure 31**) avec 27.3 % du totale des

zone II zone III zone IV zone V station vide

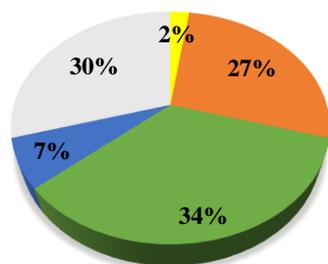


Fig.30 : Classement des sites par zone (2021)

zone I zone II station vide

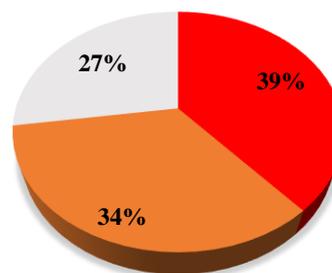


Fig.31 : Classement des sites par zone d'Agumya et Imbula (2013)

Pour le jardin anglais, il a été classé dans quatre (4) zones, I, II, III, et IV avec des pourcentages :

Zone I : $0 < \text{I.P.A} \leq 7$ (rouge) = 3.6%

Zone II : $7 < \text{I.P.A} \leq 14$ (orange) = 27.3%

Zone III : $14 < \text{I.P.A} \leq 21$ (jaune)= 38.2%

Zone IV : $21 < \text{I.P.A} \leq 28$ (vert)= 14.5%

Et 16.4% représentant les stations non coloriés sous maillage donc non étudiées (**Figure 32**).

Quant aux résultats d'**Akka et Azzi (2013)**, le jardin anglais a été classé dans trois (3) zones, I, II et III à savoir :

Zone I : $0 < \text{I.P.A} \leq 7$ (rouge) = 20%

Zone II : $7 < \text{I.P.A} \leq 14$ (orange) = 55%

Zone III : $14 < \text{I.P.A} \leq 21$ (jaune)=2.5%

Et 22.5% du total des stations qui n'ont pas été effectués (**Figure 33**).

■ zone I ■ zone II ■ zone III ■ zone IV ■ station vide

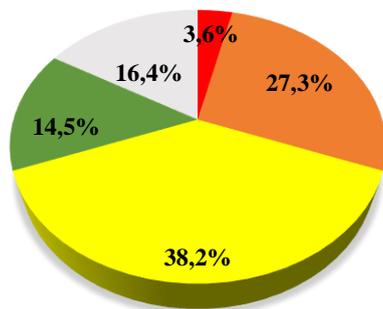


Fig. 32 : Classement des sites par zone (2021)

■ zone I ■ zone II ■ zone III ■ station vide

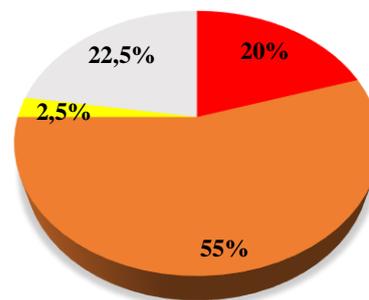


Fig. 33 : Classement des sites par zone (Akka et Azzi, 2013)

V. Discussion générale

V.1. Facteurs environnementaux qui influencent l'I.P.A

a/ Source de pollution

Les habitations et le trafic automobile sont des sources potentielles de pollution, donc cette pollution a un impact majeur sur la quantité et la qualité des lichens, il y a la présence de deux routes (la rue Mohamed Belouizdad à l'extrémité Sud et la rue de Hassiba Benbouali à l'extrémité Nord), la présence des habitations surtout dans le côté Ouest du jardin anglais et dans le côté Est du jardin d'essai français.

Les stations près des routes présentent des valeurs d'I.P.A moyenne donc une qualité de l'air moyenne à bonne. Nous avons, en effet, constaté une baisse de la pollution qui peut être liée aux conséquences de la pandémie de la Covid 19 suite au confinement imposé limitant ainsi la densité du trafic routier, certaines activités et surtout l'accès du large public au jardin.

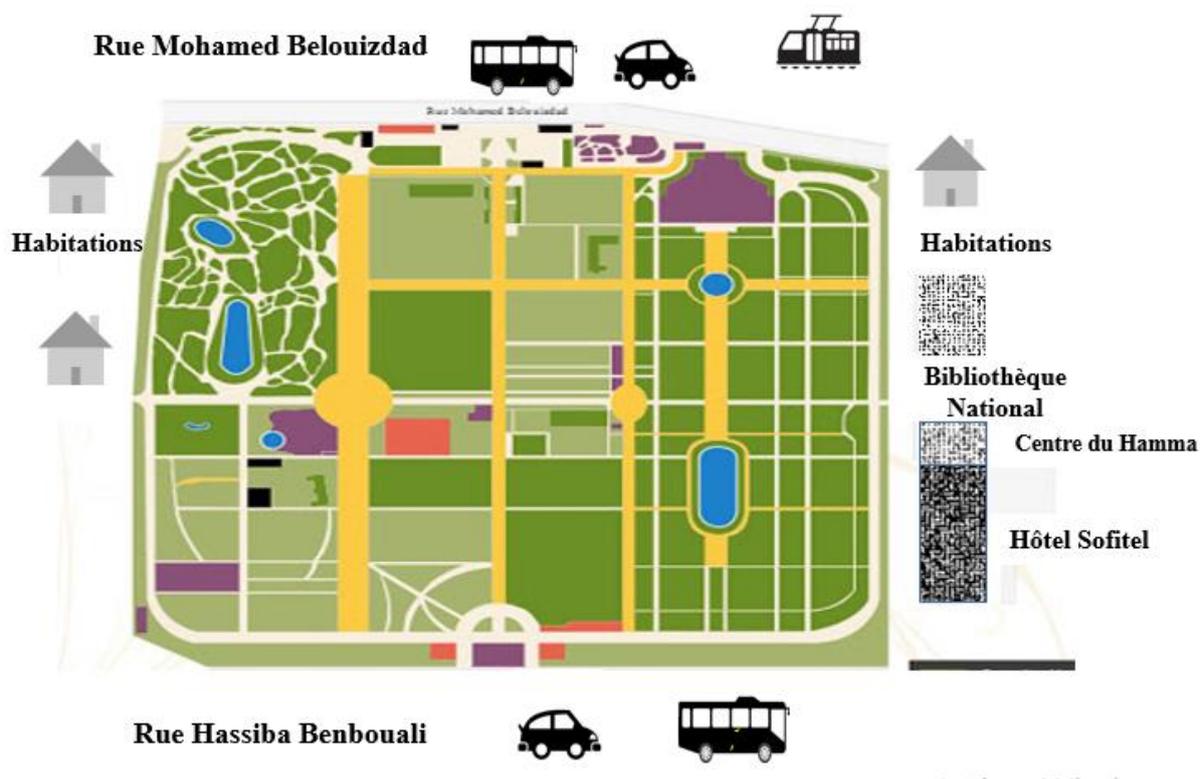


Fig 34 : Représentation des sources de pollution autour de jardin d’essai du Hamma

b. Couverture végétale

La couverture végétale joue un rôle d’écran au vent et à la pluie, accroît l’activité biologique et joue aussi un rôle majeur dans la distribution des I.P.A. Plus le nombre d’arbres est élevé plus l’I.P.A est élevée. Les stations en zones rouge et orange présentent une couverture végétale faible et moins stratifiés. La présence des allées ouvertes et une végétation moins dense facilitent une circulation libre de l’air, ainsi que la propagation des polluants. Contrairement aux autres stations avec des valeurs élevées d’I.P.A (zone jaune, verte et bleue) où la couverture végétale assez dense donc interception des polluants.

c. Effet des phorophytes

Selon **Ait Hammou (2015)**, les caractères physico-chimiques de l’écorce tel que le pH, la taille et l’âge des arbres peuvent influencer la diversité des communautés épiphytes.

Nous remarquons une variation au sein des valeurs d’I.P.A montrant une biodiversité des espèces sur les troncs des arbres.

Les stations E4 (6.01) et E9 (6.26) présentent l’I.P.A le plus faible notamment sur *Ficus macrophylla*, et A9 (34) qui présente la valeur d’I.P.A la plus élevée constatée sur *Nerium oleander*.

d. Vent

Le vent est un facteur important dans la dispersion et l'émission des polluants. Au jardin français le vent souffle dans les allées à cause de sa rectilignation, et le contraire pour le jardin anglais qui est une forêt tropicale avec une richesse botanique immense ce qui offre un couvert végétal très dense donc une faible circulation de vent.

Le jardin d'essai du Hamma placé entre les bordures de la méditerranée et les montagnes d'Alger, donc bénéficie d'un merveilleux microclimat. En effet, il est protégé des vents arrivants tout en profitant des entrées maritimes.

e. Etablissement et infrastructures

L'existence des infrastructures et les établissements jouent un rôle dans la baisse des valeurs d'I.P.A dans certaines stations qui appartiennent à la zone I et II (rouge et orange) beaucoup plus le jardin anglais, par exemple les stations qui sont à côté des établissements comme l'école de l'environnement et la station de compostage.

Le calcul de l'indice de pureté atmosphérique I.P.A dans notre zone d'étude permet de caractériser cinq (5) zones de pollution depuis la plus polluée vers la moins polluée.

La première zone très polluée (zone I de couleur rouge) occupe principalement la station E4 et E9 dans le jardin anglais à côté du carré de floriculture et du carré systématique, la végétation lichénique dans cette zone est très pauvre.

Une deuxième zone (zone II de couleur orange) est moins polluée que la première elle englobe quinze (15) stations du jardin anglais et une seule station du jardin français, on n'y observe pas de lichens sensible à la pollution.

Une troisième zone est une zone moyennement polluée (zone III de couleur jaune) affecte les douze (12) stations du jardin français et-vingt-et-une (21) stations du jardin anglais, cette zone est caractérisée par une pollution plus ou moins modérée.

La quatrième zone est caractérisée par une bonne qualité de l'air (zone IV de couleur verte) correspond à quinze (15) stations du jardin français et huit (8) station pour le jardin anglais donc une diversité lichénique importante.

A la fin la cinquième zone (zone V de couleur bleue) concernent le jardin français par trois (3) stations, et est caractérisée par une très bonne qualité de l'air, donc une diversité lichénique assez importante.

RESULTATS ET DISCUSSION

Nous pouvons situer la zone de notre étude comme une zone moins polluée par rapport aux travaux antérieurs à savoir celui de d'**Agumya et Imbula (2013)** et d'**Azzi et Akka (2013)**.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

L'utilisation d'organismes vivants pour l'évaluation de la qualité de l'air ou bioindication lichénique, doit être un outil à privilégier. Les lichens sont présents partout et leurs différences de sensibilité aux polluants nous permet de les utiliser pour évaluer l'évolution de nombreux milieux.

L'objectif de notre étude est d'utiliser les lichens du jardin botanique du Hamma comme bioindicateur pour estimer, contrôler et étudier la qualité de l'air à travers l'indice de la qualité de l'air (I.Q.A) et l'indice de pureté de l'air (I.P.A).

L'inventaire et l'identification de la flore lichénique de la région a porté sur différents phorophytes (462). Ainsi, nous avons pu inventorier 15 espèces de lichens appartenant à 11 familles, se répartissant sur 13 espèces crustacées et 2 espèces foliacées avec la dominance de l'espèce *Pertusaria hymenea*, suivi par *Dirina ceratonia*.

Selon l'indice de la pureté de l'air l'I.P.A, calculé suivant la méthode de Leblanc et Sloover (1970), nous avons pu classer le jardin français en quatre (4) zones à savoir la zone II, III, IV, et V. Quant au jardin anglais il a été classé également en quatre (4) zones, I, II, III, et IV

Au terme de ce travail, nous pouvons déduire que la technique de biosurveillance passive est une bonne indicatrice de la qualité de l'air.

A la lumière des résultats obtenus pour l'IPA et l'IQA, nous pouvons déduire que la qualité de l'air au sein du jardin varie énormément allant d'une mauvaise qualité à une très bonne qualité en fonction des caractéristiques de chacun des sites étudiés.

Perspectives

Il serait intéressant de procéder au dosage de certains biomarqueurs ou à la bioindication active à travers la recherche des différents polluants présents et l'analyse de leurs effets afin d'évaluer l'impact de ces derniers sur les milieux naturels.

Il serait également intéressant d'affiner la recherche dans les mêmes stations d'observation pour finaliser l'inventaire et identifier des espèces qui ont dû nous échapper et d'élargir la zone d'étude.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Agnan. Y. 2013.** « Bioaccumulation et bioindication par les lichens de la pollution atmosphérique actuelle et passées en métaux et en azote en France : source, mécanismes et facteurs d'influence ». Thèse de Doctorat, Université de Toulouse. 307p.
- Agumya E. et Imbula M. 2013.** Evaluation de la qualité de l'air du jardin d'essai du Hamma (côté français) par la biosurveillance lichéniques. Thèse de Master en écologie et environnement, USTHB. 45p.
- Ait Hammou. M. 2015.** Aspects taxonomiques des lichens du pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et du cypres (*cupressus sempervirens*) de la forêt de GUEZOUL (TIARET).
- Akka S., Azzi A. 2013.** Biosurveillance de la pollution atmosphérique par les lichens au niveau du jardin d'essai du Hamma : cas du jardin anglais. Thèse de Master en écologie et environnement, USTHB. 48p.
- Alioua.A. 2001.** Détection de la pollution plombique d'origine automobile à l'aide de bios accumulateurs végétaux dans l'agglomération de Skikda (N. E. Algérie). Thèse de Doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, 136 p.
- Aprile G., et al. 2011.** Monitoring Epiphytie Lichen Biodiversité to Detect Environmental Quality and Air Pollution : the case study of Roccamonfina Park (Campania Region-Italy). Allionia, Vol.39, ISSN 0065-6929. 77-86p.
- Aude. R. 2015.** Biosurveillance de la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer par les lichens. Rapport de stage, Université Paris Sud 11. 93p.
- Benali L. et Tazekrit.N. 2015.** «extraction des polyphénols à partir de quelque espèces lichénique ». Thèse de Master, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 53p.
- Bendaikha.Y. 2018.** « Systématique et écologie des lichens de la région d'Oran ». Thèse de doctorat, université d'Oran Ahmed ben Bella. 287p.
- Berrouane.S. 2015.** « Biosurveillance de la pollution atmosphérique par les lichens au niveau de l'arboretum du jardin d'essai du Hamma ». Thèse de Master, université de Blida 1. 75p.
- Boucheron C. et Martin N., 2019.** Estimation de la qualité de l'air par l'étude des lichens épiphytes Bio-indicateur sur le Pays du Bocage Vendéen. CPIE Sèvre et Bocage, 102 p.
- Bouladjoul.A et Boumimez.H.2018.** « Étude photochimique et potentiel antioxydant de quatre lichens de la région ». Thèse de Master, Université de Jijel. 102p.
- Boutabia L. (2000).** Dynamique de la flore lichénique corticole sur *Quercus suber* L. au niveau du Parc national d'El Kala. Thèse de magister, Université d'Annaba (Algérie), 150 p.
- Boutaiba.L. 2016.** « Étude systématique et bio écologie des lichens corticoles de différents phorophyte au niveau de la région d'El Kala (Nord-Est Algérien) ». Thèse de doctorat, Université de Annaba.167p.
- Claude. R et Audrey. M. 2003.** CARTOGRAPHIE DE LA QUALITE GLOBALE DE L'AIR DE L'AGGLOMERATION DE BRIANÇON (HAUTES ALPES) A L'AIDE DE LICHENS : Bull. Informe. Ass. Fr. Lichénologie. 28p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Claude et al. 2008.** Lichens et champignons lichénicoles du parc national des Cévennes : Paris, 38p.
- Clauzade.G, Roux.C. 1987.** Généralité sur les lichens et leur détermination : Bult de la société botanique centre-Ouest, Paris.154p.
- Coste C., (2011).** Écologie et fonctionnement des communautés lichéniques saxicoles hydrophiles, Thèse de doctorat d'Écologie. , Université Toulouse, 132 p.
- Coste C. 2016.** Introduction à la biologie et l'écologie des lichens Un exemple de diversité lichénique : la Corse. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 152. 100p.
- Fenichi. L, Mimoune M.2009.** « Contribution à l'étude de métabolite secondaires chez les lichens au parc national de TAZA ». Université de Jijel. 62p.
- Fadel.D, Djamai.R, Laifi.A, Benslama.M et Boughanbouz.I. 2009.** Bio-indication de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures totaux du complexe pétrochimique de Skikda à l'aide d'une espèce lichénique épiphytes *Xanthoria parietina*. Revue d'écologie (16).
- Garrec.J,P, P et Van Haluwyn.C. 2002.** Biosurveillance végétale de la qualité de l'air : concepts, méthodes et applications, Edtec et doc. Lavisier.117p.
- Geneves.L. 1990.** Biologie végétale, Thallophytes et microorganismes biosciences : Dunod.159p.
- Ghennam.K. 2011.** « Les lichens dans l'Algérois, étude de leur biodiversité et biosurveillance par S I G de la qualité de l'air ». Thèse de Magister, USTHB.99p.
- Ghennam.K.2017.** « Biosurveillance sur S I G de la qualité de l'air dans l'Algérois par la biodiversité des lichens et les végétaux supérieurs ». Thèse de doctorat, USTHB.148p.
- Gisclard. F. 2003.** Pollutions du bras inférieur de la Garonne à Toulouse : Impact général et cas d'un rejet acide. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 235p
- Gloaguen et Chaleix. 2015.** « Etude photochimique de trois lichens & approche synthétique de deux composés actifs ». Thèse de doctorat, Université de LIMOGES. 341p.
- Hassani.L et Djeddi.K. 2013.** « Les lichens de Bejaïa : témoins de la qualité de l'environnement ». Mémoire de Master, Université de Béjaïa.74p.
- Joulain. D.2009.** Lichen extracts as raw materials in perfumery, part 1. Flavour and fragrance journal. 49-61p.
- Kirschbaum. N, Wirth. V. 1997.** Les lichens Bio-indicateur : les reconnaître, évaluer la qualité de l'air. Ed Eugen Ulmer : Paris. 128p.
- Lacoste A et Salanon R., 2001.** Eléments de biogéographie et d'écologie. 2ème Ed. Edition NATHAN Université. 300p.
- Mahas.N. 2015.** « Estimation de la qualité de l'air à travers la biodiversité lichénique cas de Meftah ». Mémoire de Master, Université de Blida 1. 89p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Maizi.N, Alioua.A, Tahar.A. 2012.** Jumelage des Bio-indicateur et d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air pour la détection de la pollution par le SO₂ dans la région d'Annaba (Algérie). *Biotechnol. Agnon.Soc.environ.* 149-158p.
- Marc. B. 2012.** L'ÉVALUATION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE à l'aide de lichens épiphytes, mené avec des élèves de l'enseignement secondaire. *Bull. Ass. Fr. Lichénologie*, Vol. 37. 11p.
- Merabti.K, Rebbas.K, Beddiar.A, Aithammou, Boutabia.L. 2018.** Inventaire des lichens de la région Est d'Alger et leur utilisations comme Bio-indicateur de la pollution atmosphérique. *Revue écologie-environnement* (14). 32-43p.
- Nash.T.H.2008.** *Lichen biology*. 2nd Ed. Cambridge University Press, 502 p.
- Nylander W. 1896.** *Les lichens des environs de Paris*. P. Schmidt- Paris. 142p.
- Ouagueni N., Sadeddine H. 2017.** Bio-surveillance des émissions atmosphériques générées par la cimenterie de Sour El Ghozlane à l'aide d'un lichen (*Xanthoria parietina*). Mémoire de MASTER, UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA. 83p.
- Ouali, Elabidi, Mohir, Fekhaoui et Serghini. 2014.** « Utilisation des lichens comme bioindicateur de la pollution atmosphérique par le plomb, cadmium et zinc de la région de Rabat-salé-Zemmour-Zaer (Maroc) : Afrique science ». 18p.
- Ozenda, P. et Clauzade, G., 1970.** *Les lichens, étude biologique et flore illustrée*. Ed. Masson, Paris, 808 p.
- Ozenda, P., 2000.** *Les végétaux, organisation et diversité biologique*. Ed. Dunod, Paris, 210p.
- Rahali, M. 2002.** Cartographie de la pollution de la région d'Alger en utilisant un lichen *Xanthoria parietina* comme bio accumulateur. *Pollution Atmosphérique*, 175 : 421-432.
- Rahali, M. 2003.** Etude de la pollution plombique et globale dans la région d'Alger, en utilisant les lichens comme indicateurs biologiques. Thèse de Doctorat, I.N.A. El Harrach, 302 p.
- Rebbas, K. Boutabia L. Touazi, Y. Gharzouli, R. Djellouli, Y. Alatou D. 2011.** Inventaire des lichens du parc national de Gouraya (Bejaïa, Algérie). *Phytothérapie*, 9, 4 : 225-233.
- Roux. C. 1981.** « Étude écologique et phytosociologie des peuplements lichénique saxicoles calcicoles du Sud-Est de la France ». 557p.
- Samoum.C, Kerkour.N. 2018.** « Récolte et identification des lichens de la foret d'Akfadou commune de chemini (Bejaïa- Alger) ». Mémoire de Master, Université de Bejaïa. 63p.
- Semadi.A. 1989.** *Bulletin d'information de l'association français de lichénologie* : Paris. 20p.
- Semadi.A, Deruelle.S. 1993.** « Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichénique dans la région de Annaba (Algérie). 17p.
- Slimani A, et al. 2013.** Contribution à l'étude de la flore lichénique dans la Zénaïde de Bougous (forêt de Ramel Toulal) au niveau du Parc National d'El Kala Nord Est Algérien. *Revu. Sci. Technol.*, Synthèse 27. 29p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Terrouche A. 2016. Caractérisation de la pollution de l'air par les particules et les éléments métalliques dans la ville de Constantine. Thèse de DOCTORAT, UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI-CONSTANTINE 1. 110p.

Tievant.P. 2001. Les lichens, presses universitaires de France. 125p.

Tlili.N et al. 2009. Effets de la pollution atmosphérique sur les feuilles et le pollen de Rosa odorata. Revue synthèse N°20. 9p.

Trotet.G. 1968. Précis de lichénologie, morphologie, anatomie, physiologie, biologie. Ed, Boubée et Cie : Paris. 194p.

Van Haluwyn. C, Lerond, M., 1993. Guide des lichens. Ed. Le chevalier, Paris, 344 p.

Van Haluwyn, C, Asta, J, Gaver aux, J.P. 2009. Guide des Lichens de France : Lichens des arbres. Ed. Belin, Paris, 240 p.

Yahia. N et Marniche. F. 2019. Inventaire des espèces lichénique et estimation de la qualité de l'air dans le massif forestier de CHREA. Revue des BioRessources vol 9 N°1. 50p.

Les sites : (dernière consultation : 27/06/2021)

<http://www.pyrenees-parcnational.fr/fr>

<https://www.vigienature.fr/>

<https://www.vigienature-ecole.fr/>