

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة-

UNIVERSITE 20 AOUT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences

Département Ecologie et Environnement

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Intitulé :

Utilisation des lichens comme bioindicateur de la pollution  
atmosphérique .- Région de Kerkera et Oued Z'hour -.  
Skikda ( NE algérien)

**Présenté par :**

Melle LAFRI Amani  
Melle LARIT Mounia  
Melle SOUILAH Ines

**Membre de Jury:**

Président : Dr. Sakhraoui N.      MCA      Université 20 Aout 1955. Skikda

Examineur : Dr.Rouidi S.      MCA      Université 20 Aout 1955. Skikda

Promoteur : Dr.Zadri F.      MCB      Université 20 Aout 1955. Skikda

**Année universitaire 2024-2025**

## **Remerciements**

Avant toute chose, nous remercions Allah, le Tout-Puissant, pour nous avoir accompagnés tout au long de ce parcours, en nous accordant la force, la persévérance et la santé nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous souhaitons exprimer notre profonde reconnaissance à Madame Dr. F. Zadri, directrice de ce mémoire, pour son encadrement attentif, sa patience et sa disponibilité constante. Ses orientations précieuses ont grandement enrichi notre travail.

Nos remerciements vont également à Madame Dr. N. Sakhraoui de l'Université de Skikda, qui nous fait l'honneur de présider notre jury. Sa présence représente pour nous un réel privilège.

Nous exprimons aussi notre sincère gratitude à Dr. S. Rouidi pour son accompagnement bienveillant et ses conseils avisés qui nous ont soutenus tout au long de notre travail.

Nous tenons aussi à saluer l'ensemble de nos enseignants qui ont contribué à notre formation tout au long de ces années universitaires, avec une mention particulière à Madame F. Zadri et Madame S. Rouidi, dont le dévouement et la pédagogie ont marqué notre parcours.

Enfin, un grand merci à toutes les personnes, proches ou lointaines, qui ont participé, de quelque manière que ce soit, à la réalisation de ce mémoire.

## **Dédicace**

Tout d'abord, je remercie DIEU de m'avoir donné la force d'arriver jusqu'ici.

Je dédie ce travail à :

Moi-même, pour ma persévérance.

Ma mère et mon père, pour leur amour et leur soutien.

Ma famille, pour leur présence réconfortante.

Mes camarades, pour les bons moments partagés.

**SOUILAH Ines**

## Dédicace

Je dédie mon diplôme à mes parents adorés. Que Dieu vous garde en bonne santé et vous accorde une longue vie. Merci pour votre amour, votre patience et votre soutien. Maman, Papa, je vous aime profondément.

À mes frères Jaber et Hani, mes soutiens de toujours. Merci d'avoir été là à chaque étape. Votre présence m'a donné de la force.

À mes amis qui ne sont plus là, vos paroles restent dans mon cœur.

À mes professeurs, merci pour votre temps, vos efforts et vos encouragements. Vous m'avez beaucoup appris.

À moi-même, qui ai cru en ce rêve : continue, sois forte et garde confiance. Le chemin continue.

Et enfin, merci à tous ceux qui m'ont accompagnée dans cette belle aventure. Je vous suis très reconnaissante.

LAFRI Amani

## **Dédicace**

Je dédie ce travail à mes chers parents, en leur adressant mes plus sincères remerciements et ma profonde gratitude pour leur soutien moral et matériel, ainsi que pour leurs prières constantes qui ont été mon appui tout au long de ce parcours.

À mes frères et à ma chère famille, pour l'amour et l'encouragement dont ils m'ont entourée durant toutes les étapes de ce travail.

À ma respectée enseignante, pour les efforts et les orientations précieuses qui ont grandement contribué à la réalisation de ce mémoire.

Et à mes chères camarades, pour leur esprit de coopération et de solidarité tout au long de ce chemin scientifique.

À vous tous, j'adresse cette modeste dédicace, en signe de reconnaissance et de fidélité.

LARIT Mounia

## Résumé

L' étude que nous avons menée s'inscrit dans une démarche écologique visant à évaluer la qualité de l'air à travers l'utilisation des lichens comme bioindicateurs naturels. Elle a été réalisée dans deux localités de la wilaya de Skikda : **Kerkera**, zone présentant une certaine influence anthropique mais bénéficiant d'un couvert végétal dense, et **Oued Z'hour**, à caractère rural.

L'évaluation de la qualité de l'air s'est appuyée sur des approches qualitatives utilisant quatre échelles de référence : **Hawksworth et Rose (1970)**, **Van Haluwyn et Lerond (1986)**, l'échelle de **Dalby (1981)** et celle adaptée par **Tiévant (2001)**, ainsi qu'une méthode quantitative fondée sur l'indice de qualité de l'air (IQA) selon **Kirschbaum et Wirth (1997)**.

Au total, **neuf** espèces de lichens ont été identifiées, parmi lesquelles *Xanthoria parietina*, *Diploicia canescens*, *Lepraria sp.*, *Physcia clementei*, *Ramalina canariensis*, *Physcia tribacia*, *Graphis sp.*, *Parmotrema perlatum* et *Physcia semipinnata*. Plusieurs de ces espèces sont reconnues pour leur tolérance à la pollution, notamment azotée.

L'analyse des résultats révèle une diversité lichénique légèrement plus élevée à Kerkera, probablement en lien avec la densité du couvert végétal et un microclimat plus stable. En revanche, à **Oued Z'hour**, la dominance d'espèces nitrophiles et résistantes, comme *Physcia clementei*, indique une qualité de l'air plus dégradée, liée à des apports anthropiques azotés ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ).

D'un point de vue quantitatif, l'IQA a révélé des valeurs proches mais significatives entre les deux sites : 9,64 à **Kerkera** et **9,32** à **Oued Z'hour**, indiquant une pollution atmosphérique très élevée dans les deux cas. Ces résultats traduisent l'impact croissant des activités humaines, telles que l'urbanisation, les pratiques agricoles intensives et la réduction du couvert forestier.

Notre travail met en évidence l'intérêt des lichens en tant qu'outils de biosurveillance et souligne la nécessité d'un suivi régulier pour évaluer l'évolution de la qualité de l'air et guider les actions de protection des écosystèmes locaux.

**Mots clés** : Qualité de l'air, lichens, bioindication, pollution atmosphérique, **Kerkera**, **Oued Z'hour**.

## المخلص

تندرج الدراسة التي أجريناها ضمن مقارنة بيئية تهدف إلى تقييم جودة الهواء باستخدام الأشنات كمؤشرات حيوية طبيعية. وقد تم تنفيذها في موقعين من ولاية سكيكدة: كركرة، وهي منطقة ذات تدخل بشري نسبي لكنها تتميز بغطاء نباتي كثيف، ووادي الزهور، الذي يتميز بطابع ريفي.

استند تقييم جودة الهواء إلى منهجيات نوعية اعتمدت على أربع سلالم مرجعية: هوكسورث وروز (1970)، فان هالوين وليرون (1986)، سلم دالبي (1981)، والسلم المعدل من طرف تيفان (2001)، بالإضافة إلى طريقة كمية تعتمد على مؤشر جودة الهواء (IQA) حسب كيرشباوم وويرث (1997).

تم تحديد ما مجموعه تسعة أنواع من الأشنات، من بينها *Xanthoria parietina*، *Diploicia canescens*، *Lepraria*، *Parmotrema*، *Graphis* sp.، *Physcia tribacia*، *Ramalina canariensis*، *Physcia clementei*، sp.، *Physcia semipinnata*، *perlatum* العديد من هذه الأنواع معروفة بتحملها للتلوث، خاصة التلوث الناتج عن المركبات الأوتوية.

أظهرت نتائج التحليل تنوعاً إنشياً أعلى قليلاً في كركرة، ويرجح أن ذلك مرتبط بكثافة الغطاء النباتي ووجود مناخ محلي أكثر استقراراً. في المقابل، فإن سيادة الأنواع المحبة للنيتروجين والمقاومة، مثل *Physcia clementei*، في وادي الزهور، تشير إلى تدهور أكبر في جودة الهواء، ناتج عن التلوث البشري بالمواد الأوتوية ( $\text{NO}_x$ )، ( $\text{NH}_3$ ).

من الناحية الكمية، كشف مؤشر جودة الهواء عن قيم متقاربة لكنها ذات دلالة بين الموقعين: 9.64 في كركرة و9.32 في وادي الزهور، مما يدل على وجود تلوث جوي مرتفع جداً في كلا الموقعين. وتعكس هذه النتائج التأثير المتزايد للأنشطة البشرية مثل التوسع العمراني، والممارسات الزراعية المكثفة، وتراجع الغطاء الغابي.

يبرز هذا العمل أهمية الأشنات كأدوات للرصد الحيوي، ويؤكد الحاجة إلى مراقبة دورية لتقييم تطور جودة الهواء وتوجيه جهود حماية النظم البيئية المحلية.

**الكلمات المفتاحية:** جودة الهواء، أشنات، مؤشر حيوي، تلوث جوي، كركرة، وادي الزهور.

## Abstract

The study we conducted falls within an ecological approach aiming to assess air quality using lichens as natural bioindicators. It was carried out in two localities of the Skikda province: Kerkera, an area under some anthropogenic influence but with dense vegetation cover, and Oued Z'hour, which has a rural character.

The air quality assessment relied on qualitative approaches based on four reference scales: Hawksworth and Rose (1970), Van Haluwyn and Lerond (1986), Dalby's scale (1981), and the adapted scale by Tiévant (2001), as well as a quantitative method based on the Air Quality Index (AQI) developed by Kirschbaum and Wirth (1997).

In total, nine lichen species were identified, including *Xanthoria parietina*, *Diploicia canescens*, *Lepraria sp.*, *Physcia clementei*, *Ramalina canariensis*, *Physcia tribacia*, *Graphis sp.*, *Parmotrema perlatum*, and *Physcia semipinnata*. Several of these species are known for their tolerance to pollution, particularly nitrogen-based.

The analysis revealed a slightly higher lichen diversity at Kerkera, likely related to the denser vegetation cover and a more stable microclimate. Conversely, in Oued Z'hour, the dominance of nitrophilous and resistant species such as *Physcia clementei* suggests a more degraded air quality due to anthropogenic nitrogen inputs ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ).

From a quantitative perspective, the AQI showed close but significant values between the two sites: 9.64 in Kerkera and 9.32 in Oued Z'hour, indicating very high atmospheric pollution in both cases. These results reflect the increasing impact of human activities such as urbanization, intensive agricultural practices, and reduction in forest cover.

Our study highlights the usefulness of lichens as biomonitoring tools and underscores the need for regular monitoring to assess air quality trends and support ecosystem protection efforts.

**Keywords:** Air quality, lichens, bioindication, air pollution, Kerkera, Oued Z'hour.

## SOMMAIRE

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

### Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

<b>1 . La pollution atmosphérique :.....</b>	<b>3</b>
1.1 Définition de la Pollution Atmosphérique : .....	3
1.2 Sources et principaux polluants atmosphériques : .....	3
1.3 Polluants primaires et secondaires : .....	4
<b>2. Les Lichens comme Bioindicateurs de la Pollution Atmosphérique : .....</b>	<b>4</b>
2.1 Activité continue : .....	4
2.2 Métabolisme lent : .....	4
2.3 Grand pouvoir d'accumulation : .....	4
2.4 Absence de mécanismes de défense contre la pollution :.....	5
<b>3. Les lichens : .....</b>	<b>5</b>
3.1 Morphologies des lichens :.....	5
3.2 Structure de la talle :.....	6
<b>4. La reproduction : .....</b>	<b>8</b>
<b>5. Structure Anatomique : .....</b>	<b>10</b>

### Chapitre 2 : Matériel et méthodes

<b>1. Description du site d'étude: .....</b>	<b>11</b>
1.1 Site 01 : Kerkera.....	11
1.2 Site 02 : Oued Z'hour .....	12
<b>2. Méthodes d'étude .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Echantillonnage des lichens .....</b>	<b>12</b>
2.1.1 La récolte des lichens : .....	12
2.1.2. Identification des lichens .....	14
<b>2.2 Evaluation de la qualité d'air.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1 Par les méthodes qualitatives :.....</b>	<b>15</b>
2.2.1.1 Échelle de Hawksworth et Rose (1970) :.....	15
2.2.1.2 Échelle de Van-Haluwyn-Lerond (1986): .....	17

2.2.1.3 Échelle Illustrée de Dalby (1981) :.....	21
2.2.1.4 Échelle adaptée par Tiévant (2001) :.....	22
<b>2.2.2 La méthode quantitative : Indice de Qualité de L'air (IQA) :.....</b>	<b>24</b>

### Chapitre 3 : Résultats et discussion

<b>1. Présentation des résultats : .....</b>	<b>25</b>
<b>1-1 Identification des espèces lichéniques : .....</b>	<b>25</b>
<b>1. 2. Comparaison de la diversité lichénique entre les deux sites : .....</b>	<b>31</b>
1.2.1 Diversité lichénique au niveau du site 1 de kerkerera :.....	31
1.2.2 Diversité lichénique au niveau du site 2 de Oued Z'hour : .....	31
<b>1.3. Evaluation de la qualité de l'air par les méthodes qualitatives et quantitatives : .....</b>	<b>32</b>
<b>1.3.1. Méthodes qualitatives :.....</b>	<b>32</b>
1 .3.1.1 Echelle de Hawksworth et Rose (1970) :.....	32
1 .3.1.2 Echelle de Van Haluwyn & Lerond (1986) : .....	33
1 .3.1.3 Echelle Illustrée de Dalby (1981) :.....	34
1 .3.1.4 Echelle adapté par Tiévant (2001) :.....	35
<b>Comparaison des quatre échelles de l'estimation qualitative de l'air des deux sites d'études : .....</b>	<b>36</b>
<b>1. 3.2 Méthodes quantitatives : Indice de qualité de l'air (IQA. kirschbaum et wirth, 1997):</b>	<b>37</b>
<b>Discussion :.....</b>	<b>39</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>40</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>42</b>

## Liste des figures :

Figure 1 : Coupe transversale d'un thalle de lichen (Nefronus, 2019) .....	6
<b>Planche 1</b> : Photos représentatives des différents types thalles	
Figure 2: <i>Collema pulposum</i> (Bernh.) Ach. ....	6
Figure 3 : <i>Caloplaca flavescens</i> (Huds.) Laundon (photo de Gavériaux, 2009) .....	7
Figure 4: <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf.....	7
Figure5: <i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale (photo de Hollinger, 2011).....	7
<b>Planche 02</b> :Photos représentatives de la reproduction sexuée et asexuée	
Figure 6: Apothécies orange plus intenses que les thalles chez <i>Xanthoria parietina</i> .....	8
Figure7:Soralie du lichen <i>Hypogymnia physodes</i> .....	9
Figure 8: Photo d'isidies.....	9
Figure 10: Image satellite de la commune de Kerkera montrant la zone d'étude (Google Earth 2025) .....	11
Figure 11: Image satellite de la commune d'Oued Z'hour montrant d'étude (Google Earth 2025) .....	12
Figure 12 .Quadrillage sur un olivier face l'ouest.....	13
Figure 13.L'identification des espèces lichéniques par une loupe binoculaire .....	14
Figure 14 .Echelle illustrée de la pollution de l'air de Dallby(1981) .....	22
Figure 15 : Échelle de correspondance entre l'IQA et la pollution .....	24
Figure16 : <i>Diploicia canescens</i> (Dicks.) A. Massal .....	25
Figure 17 : <i>Graphis</i> sp.....	26
Figure19 : <i>Parmotrema perlatum</i> (Huds.) M. Choisy .....	26
Figure20 : <i>Phycia clementei</i> (Schaer.) Moberg.....	27
Figure21 : <i>Phycia semipinnata</i> (J. Steiner) Nyl. ....	27
Figure22 : <i>Phycia tribacia</i> (Ach.) Nyl. ....	28
Figure 23 : <i>Ramalina canariensis</i> J. Steiner.....	28
<b>Planche 3</b> : Photographies représentatives de quelques espèces non identifiées.	
Figure 18 : <i>Lepraria</i> sp.....	28
Figure 24 : <i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.....	29
Figure 25 :Photographied'unlichen non identifié X1 .....	29
Figure 26 :Photographied'unlichen non identifié X2 .....	29
Figure 27 :Photographied'unlichen non identifié X3 .....	29
Figure 28 :Photographied'unlichen non identifié X4 .....	30

Figure 29 :Photographied'unlichen non identifié X5 .....	30
Figure 30 :Photographied'unlichen non identifié X6 .....	30
Figure31 : Photographied'unlichen non identifié X10.....	30
Figure 32 :Photographied'unlichen non identifié X11.....	30
<b>Planche 4</b> :Phtographies de quelques espèces de lichens crustacés prélevés du quartier « Espérance, Skikda »	
Figure 33 :Photographied'unlichen non identifié X12.....	30
Figure 34 :Photographied'unlichen non identifié X13.....	30
Figure 35 :La distribution de la diversité des lichens dans le site 1 kerkerà .....	31
Figure 36 : La distribution de la diversité des lichens dans le site2 Oued Z'hour .....	32
Figure 37 : Niveau de pollution atmosphérique au site de kerkerà selon l'échelle IQA de Kirschbaum & Wirth (1997) .....	37
Figure 38 : Niveau de pollution atmosphérique au site de Oued Z'hour selon l'échelle IQA de Kirschbaum & Wirth (1997) .....	38

## Liste des tableaux :

Tableau 1: Les sources de pollution atmosphérique et leurs principaux polluants (Seinfeld & Pandis, 2016; OMS, 2018 ; EEA, 2020 ):	3
Tableau 2 :Échelle de sensibilité des lichens épiphytes au dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) selon Hawksworth et Rose (1970) (Hawksworth, D. L., & Rose, F. (1970).)	16
Tableau 3:Liste des espèces utilisées et principales caractéristiques pour la reconnaissance sur le terrain(Gavériaux, 2009) .	18
Tableau 4:Quelques lichens typiques des zones de concentrations progressives en SO <sub>2</sub> sur écorces(Tiévant, 2001)	22
Tableau 5: Liste des espèces lichéniques identifiées sur les deux sites (site 1 :,kerkera site 2 : Oued Z'hour).	25
Tableau 6: Estimation de la qualité de l'air des sites selon la méthode de Hawksworth et Rose (1970)	33
Tableau 7: Estimation de la qualité de l'air des sites selon la méthode de Van Haluwyn Lerond (1986)	33
Tableau 8: Estimation de la qualité de l'air des stations selon L'échelle de Dalby (1981)	34
Tableau 9: Estimation de la qualité de l'air des stations selon L'échelle adapté par Tiévant(2001)	35
Tableau 10: Comparaison de l'évaluation de la qualité de l'air des stations d'étude par les méthodes qualitatives.	36
Tableau 11: Calcul de l'indice de qualité de l'air pour le Site 01 (kerkera)	37
Tableau 12: Calcul de l'indice de qualité de l'air pour le Site 02 (Oued Z'hour)	38

## Introduction

---

L'augmentation rapide de l'urbanisation, des activités industrielles et agricoles, a conduit à une exposition de plus en plus importante à la pollution atmosphérique, dans plusieurs régions du monde, surtout dans les pays en développement (OMS, 2018).

Les différentes activités humaines génèrent divers types de polluants atmosphériques. Par exemple, les transports sont une source majeure d'émissions de dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) et de dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), en raison de la combustion des carburants. L'industrie libère également de grandes quantités de particules fines, de monoxyde de carbone ( $\text{CO}$ ) et de composés organiques volatils, tandis que l'agriculture contribue aux émissions d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) provenant des engrais et de l'élevage. Ces polluants ont des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement (OMS, 2021).

La qualité de l'air est l'un des grands enjeux environnementaux de notre époque, en raison de son impact direct sur la santé humaine et l'équilibre des écosystèmes (OMS, 2018).

Ces polluants atmosphériques représentent une menace importante pour la santé humaine et les écosystèmes. Une exposition continue à des substances telles que le dioxyde d'azote, les particules fines et l'ozone peut entraîner des maladies respiratoires chroniques, des troubles cardiovasculaires et même des cancers. Les effets sont plus prononcés chez les enfants et les personnes âgées. De plus, ces polluants perturbent les écosystèmes par l'acidification des sols, la pollution de l'eau et leurs impacts sur la biodiversité, notamment par la dégradation des habitats naturels.

Parmi les moyens efficaces pour surveiller la qualité de l'air, les lichens sont très utiles. Ce sont des organismes très sensibles à la pollution, car ils dépendent totalement de l'air pour se nourrir et absorbent les substances présentes dans l'atmosphère. Grâce à cette sensibilité, ils sont souvent utilisés comme indicateurs biologiques. Leur présence, leur diversité ou leur absence permet d'estimer le niveau de pollution de l'air dans une région donnée (Conti & Cecchetti, 2001).

Dans ce contexte, la wilaya de Skikda, située au nord-est de l'Algérie, bien que connue par son secteur industriel, qui revêt une importance majeure sur l'économie nationale. Présente aussi une activité agricole considérable, où certaines communes gardent un caractère rural et agricole. C'est le cas de l'ouest de la wilaya, notamment les régions d'OuedZhour et Kerkera, qui conserve en grande partie un environnement naturel et rural. Cependant, le problème de pollution diffuse et la progression de l'urbanisation, peuvent les exposer à une pollution atmosphérique indirecte.

Il est donc important d'évaluer la qualité de l'air dans ces régions pour comprendre la situation actuelle et détecter d'éventuels changements pouvant affecter l'environnement et la santé

## **Introduction**

---

des habitants. D'où l'objectif de notre travail qui vise à apprécier la qualité de l'air dans ces deux communes par l'utilisation des lichens.

Afin d'atteindre cet objectif, ce mémoire s'articule autour de trois chapitres :

- Le premier chapitre présente les notions générales relatives à la pollution atmosphérique, aux polluants et aux lichens comme bioindicateurs.
- Le deuxième chapitre décrit la zone d'étude et expose les méthodes utilisées pour l'échantillonnage et l'identification des espèces lichéniques.
- Enfin, le troisième chapitre regroupe les résultats obtenus, leur interprétation, la discussion ainsi qu'une conclusion générale.

# **Chapitre 1**

## **Synthèse bibliographique**

### 1 . La pollution atmosphérique :

#### 1.1 Définition de la pollution atmosphérique :

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2018), la pollution de l'air est "une contamination de l'air par des agents chimiques, physiques ou biologiques qui modifient ses caractéristiques naturelles et ont des effets nuisibles sur la santé humaine et l'environnement", l'introduction de substances nocives, d'origine naturelle ou anthropique, dans l'atmosphère terrestre. Peut affecter la qualité de l'air, la santé humaine, déstabiliser les écosystèmes et contribuer aux phénomènes environnementaux tels que le changement climatique et l'acidification des sols.

#### 1.2 Sources et principaux polluants atmosphériques :

La pollution atmosphérique provient de différentes sources, qu'elles soient naturelles ou résultant des activités humaines. Les principaux polluants varient selon l'origine.

**Tableau 1:** Les sources de pollution atmosphérique et leurs principaux polluants (Seinfeld & Pandis, 2016; OMS, 2018 ; EEA, 2020 )

Catégorie	Sources	Polluants principaux
Naturelles	Éruptions volcaniques	Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ), particules fines
	Feux de forêts	Monoxyde de carbone (CO), particules fines
	Emissions biogéniques (végétation , sols )	Composés organiques volatils (COV)
Anthropiques	Industrie	Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ), dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ), hydrocarbures , métaux lourds
	Transport	Monoxyde de carbone (CO), oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ), particules fines, hydrocarbures
	Agriculture	Ammoniac (NH <sub>3</sub> ), méthane (CH <sub>4</sub> ), pesticides
	Résidentiel et chauffage	Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ),

		monoxyde de carbone (CO), particules fines
--	--	---

### 1.3. Polluants primaires et secondaires :

Les polluants primaires sont ceux directement émis dans l'atmosphère, soit par des activités humaines, soit par des processus naturels modifiés par l'activité anthropique.

Les polluants secondaires résultent de réactions chimiques impliquant les polluants primaires, notamment sous l'effet du rayonnement solaire. Ces nouveaux composés peuvent être plus nocifs que les substances initiales. (EEA, 2020)

## 2. Les Lichens comme bioindicateurs de la pollution atmosphérique :

Les lichens se distinguent des plantes supérieures par plusieurs caractéristiques essentielles (Samedi , 1988) :

### 2.1 Activité continue :

Les lichens maintiennent une activité biologique constante, indépendamment des variations saisonnières. Leur processus de photosynthèse se poursuit tout au long de l'année, y compris en hiver. Exposés en permanence aux conditions atmosphériques, ils deviennent particulièrement sensibles aux polluants aériens. Ainsi, ils constituent des bioindicateurs précis de la qualité de l'air. (Samedi , 1988)

### 2.2 Métabolisme lent :

Les lichens présentent une croissance extrêmement lente et une longévité remarquable. Cette caractéristique permet d'évaluer l'évolution de la pollution sur de longues périodes. Une fois contaminés par des polluants, leur capacité de régénération est limitée, ce qui peut entraîner leur disparition. De plus, les espèces crustacées se révèlent plus résistantes aux environnements urbains et industriels que les espèces foliacées et fruticuleuses, en raison de leurs échanges gazeux réduits et de leur croissance plus lente. (Samedi , 1988)

### 2.3 Grand pouvoir d'accumulation :

Les cellules des lichens absorbent de manière non sélective une large gamme de substances présentes dans l'atmosphère. Parmi ces substances, on trouve notamment le soufre, le fluor, le

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

---

plomb et certains éléments radioactifs. Cette capacité exceptionnelle d'accumulation permet ainsi d'utiliser les lichens pour surveiller efficacement la pollution atmosphérique. (Samedi , 1988)

### 2.4 Absence de mécanismes de défense contre la pollution :

Les lichens ne possèdent ni racines ni structures d'absorption spécifiques. Leurs rhizines servent uniquement à l'ancrage sur leur substrat. En l'absence de cuticule protectrice, ils absorbent directement l'eau, les nutriments et les polluants par toute la surface de leur thalle. (Samedi , 1988)

### 3. Les lichens :

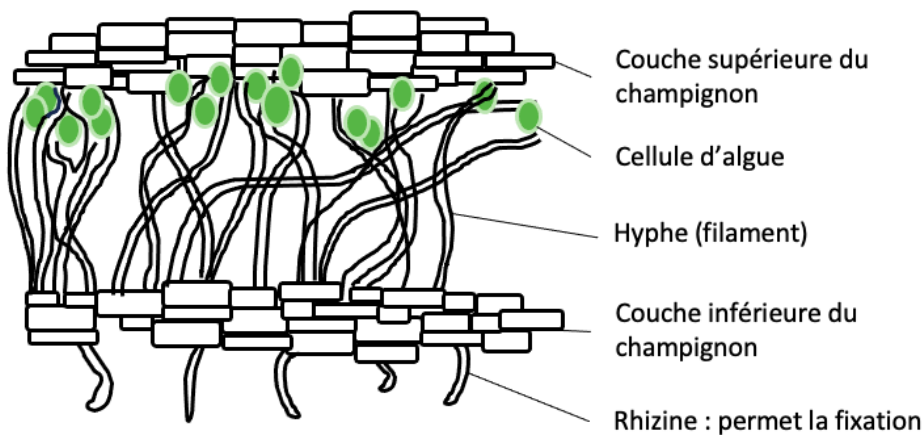
Le terme « Lichen » est d'origine grecque et désignait initialement des plantes poussant sur les troncs d'arbres (Ozenda, & Clauzade ,1970). Les lichens sont des organismes symbiotiques issus de l'association entre un champignon (mycobionte) et une algue verte ou une cyanobactérie (photobionte). Cette relation mutualiste leur permet de coloniser des environnements extrêmes. Classés dans le règne fongique, ils jouent un rôle écologique fondamental, notamment dans la stabilisation des sols et en tant que bioindicateurs de la qualité de l'air. Leur absence de cuticule protectrice les expose directement aux conditions environnementales, renforçant ainsi leur rôle de sentinelles de la qualité atmosphérique (Nimis et al., 2002).

Selon Nylander (1866), "les lichens sont des indicateurs naturels de la pureté de l'air, agissant comme un hygromètre très sensible".

#### 3.1 Morphologie des lichens :

Les lichens ne possèdent ni racines, ni tiges, ni feuilles, mais un thalle, qui est une structure végétative non différenciée. Leur organisation repose sur deux composants principaux (Figure 1) :

- Le champignon constitue environ 90 % de la biomasse du lichen ; il assure la structure du thalle, la protection contre la dessiccation, et l'absorption de l'eau et des sels minéraux (Purvis, 2000 ; Brodo et al., 2001).
- L'algue verte ou la cyanobactérie représente environ 10 %, jouant un rôle crucial dans la photosynthèse et la production de nutriments nécessaires à la survie de l'organisme symbiotique.



**Figure 1** : Coupe transversale d'un thalle de lichen (Nefronus, 2019)

### 3.2 Structure de la talle :

Le thalle des lichens peut adopter plusieurs formes :

- **Le thalle gélatineux**

A une texture semblable à la gélatine lorsqu'il est humide, en raison de la présence de cyanobactéries uniformément réparties. À l'état sec, il devient dur et friable. (Humbert, 2012.)



**Figure 2:** *Collema pulposum* (Bernh.) Ach.

(var. marginale E. Florence - Parc national des Pyrénées )

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

<p><b>Le thalle crustacé</b> (le plus fréquent)</p> <p>Crustacés, en forme de croûte généralement très adhérentes au substrat (Engler &amp; Lacoux, 2009).</p> <p>Est souvent fortement collé au support, difficile à détacher, et parfois même intégré à celui-ci. Il ressemble à une croûte, parfois fissurée, divisée en petites zones (aréolée), avec ou sans lobes sur les bords (Humbert, 2012).</p>	 <p><b>Figure 3 :</b> <i>Caloplaca flavescens</i> (Huds.) Laundon (photo de Gavériaux, 2009)</p>
<p><b>Le thalle fruticuleux</b></p> <p>Est fixé par une petite surface au substrat. Il a une forme buissonnante, dressée ou pendante, souvent ramifiée. Sa structure est hétéromère, avec une symétrie radiale, un cortex périphérique et une couche algale entourant une médulle centrale. Certaines espèces présentent des formes aplaties ou cannelée .(Humbert, 2012.)</p>	 <p><b>Figure 4:</b> <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf</p>
<p><b>Le thalle foliacé</b></p> <p>Le thalle foliacé est une forme de lichen plutôt aplatie et étalée sur le substrat. Il possède une structure en couches avec une face supérieure et une face inférieure. Il est fixé au substrat par des rhizines ou d'autres petites structures. Les organes reproducteurs se trouvent sur la face supérieure ou sur les bords du thalle.(Harmand, 1909)</p>	 <p><b>Figure5:</b> <i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale (photo de Hollinger, 2011).</p>

**Planche 01 :**Photos représentatives des différents types de thalles

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

---

- **Autres organes particuliers des lichens :**

**Les rhizines** sont des filaments simples ou ramifiés situés sous les thalles foliacés, jouant un rôle de fixation.

**Les cils** sont des structures fines, visibles à l'œil nu, souvent blanches ou noires, localisées en périphérie ou sur la surface du thalle.

**Les poils** sont des prolongements fins d'hyphes du cortex, visibles à la loupe, dispersés ou formant un duvet dense. (Humbert, 2012.)

### 4. La reproduction :

Les lichens se reproduisent pour se développer et coloniser de nouveaux milieux. Ils utilisent deux modes principaux : la reproduction végétative et la reproduction sexuée. La reproduction végétative permet de disperser des fragments contenant à la fois le champignon et l'algue. La reproduction sexuée produit des spores qui favorisent la diversité.

#### **Reproduction sexuée :**

La reproduction sexuée des lichens se fait principalement par la dissémination de spores issues du partenaire fongique, généralement un ascomycète. La spore doit ensuite retrouver une algue ou une cyanobactérie pour former un nouveau lichen. Les spores sont produites dans des asques, situés dans des structures appelées apothécies (en forme de disque ou de coupe) ou périthèces. **Les apothécies** peuvent être lécanorines (bord thallin), lécidéines (bord propre), ou zéorines (double bord). Celles en forme de sillons sont appelées lirelles. (Humbert, 2012)



**Figure 6:** Apothécies orange plus intenses que les thalles chez *Xanthoria parietina*. (L.) Th. Fr.

### Reproduction asexuée :( végétative.)

Chez les lichens, la reproduction végétative constitue un mode de dissémination essentiel, permettant la colonisation de nouveaux substrats. Elle repose sur la dispersion de structures lichéniques complexes renfermant les deux partenaires symbiotiques : le champignon et l'algue (ou cyanobactérie).

Deux types de structures spécialisées sont impliquées dans ce processus : **les soralies** et **les isidies**.

Les **soralies** sont des zones de rupture du thalle, d'où émergent des **sorédies**, petits granules composés à la fois d'éléments fongiques et algaux. Ces unités de dissémination peuvent être transportées efficacement par divers vecteurs tels que le vent, la pluie, les insectes, les animaux ou même l'activité humaine. Lorsque les conditions environnementales sont favorables, les sorédies peuvent donner naissance à un nouveau thalle fonctionnel (Engler & Lacoux, 2009).

Les **isidies**, quant à elles, sont de petites excroissances corticales du thalle, également composées des deux partenaires. Bien qu'elles soient moins aisément disséminées que les sorédies,



**Figure 7:** Soralie du lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl



**Figure 8:** Photo d'isidies

## Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

---

elles jouent un rôle important en augmentant la surface photosynthétique du lichen. Leur détachement spontané permet aussi la reproduction clonale à courte distance (Engler & Lacoux, 2009).

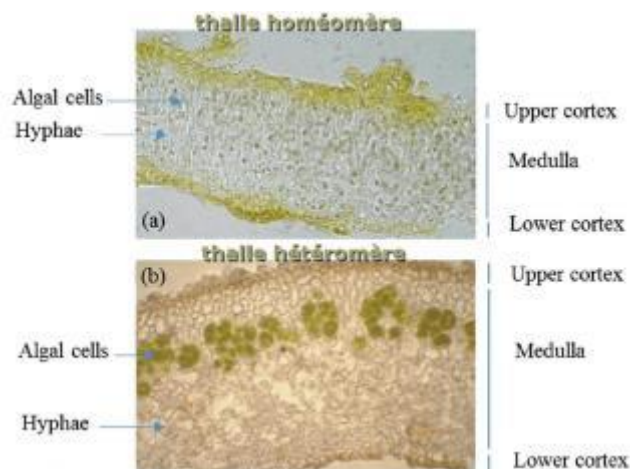
**Planche 02 :**Photos représentatives de la reproduction sexuée et asexuée chez les lichens

### 5. Structure Anatomique :

Le thalle des lichens se présente sous deux formes principales :

**Thalle homéomère :** Les cellules algales sont dispersées uniformément parmi les hyphes fongiques sur toute l'épaisseur du thalle.

**Thalle hétéromère :** Le thalle est organisé en couches distinctes : un cortex supérieur, une couche contenant les algues (gonidies), une médulle formée de filaments mycéliens et un cortex inférieur avec des rhizines pour l'ancrage. ( Purvis, W. 2000)



**Figure 9 :** Structure de deux thalles, homéomère (a) et hétéromère (b)

# **Chapitre 2**

## **Matériel et méthodes**

### 1. Description du site d'étude:

Notre étude sur les lichens en tant que bioindicateurs de la pollution de l'air a été réalisée dans la wilaya de Skikda, qui appartient à l'étage bioclimatique humide à subhumide, caractérisé par des précipitations relativement élevées et des températures modérées.

Cette étude a été réalisée dans deux zones situées à l'ouest de la wilaya de **Skikda (Algérie)**, à savoir **Kerkera** et **Oued Z'hour**.

#### 1.1 Site 01 : Kerkera

La région de **Kerkera** est située à environ 55 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Skikda. Elle se caractérise par un relief montagneux progressif et une couverture végétale dense, composée principalement de chênes (*Quercus spp.*) et de pins (*Pinus spp.*), typique des forêts méditerranéennes (DGF, 2015).

Le climat est méditerranéen subhumide, avec des précipitations abondantes en automne et en hiver (ONM, 2020). Les coordonnées géographiques du point de collecte sont : 36°47' N, 6°21' E (Google Earth, 2025)



**Figure 9:** Image satellite de la commune de Kerkera montrant la zone d'étude (Google Earth ; 2025)

### 1.2 Site 02 : Oued Z'hour

La région d'Oued Z'hour se situe à environ 60 km à l'ouest de la capitale de la wilaya. Elle présente un relief accidenté, traversé par des oueds et des ravins profonds, avec une végétation naturelle dominée par le chêne-liège (*Quercus suber*) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) (Benabderrahmane et al., 2019). Le climat est également méditerranéen subhumide, avec un taux de précipitations élevé favorisant une grande biodiversité (Atlas climatique de l'Algérie, 2011).

Ses coordonnées géographiques sont : 36°45' N, 6°27' E (Google Earth, 2025).



**Figure 10:** Image satellite de la commune d'Oued Z'hour montrant d'étude (Google Earth 2025)

## 2. Méthodes d'étude

### 2.1 Echantillonnage des lichens

#### 2.1.1 La récolte des lichens :

Dans notre étude, nous nous sommes concentrés sur les lichens épiphytes, poussant sur les arbres. Il est préférable de choisir des arbres droits, d'âge moyen à âgé, dont la circonférence dépasse 50 cm, appartenant à des espèces connues pour être de bons hôtes pour les lichens, comme le chêne ou le pin. La technique d'échantillonnage est aléatoire elle se ressume comme suit:

- Une grille d'échantillonnage correspondant à 5 carrés de 10×10 cm est montée.

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

---

- La grille est ensuite fixée sur l'arbre à un mètre du sol afin d'uniformiser les conditions d'échantillonnage notamment celles d'accessibilité de la lumière et de l'humidité aux lichens. (Figure 11) (VDI, 1995 ; Asta et al., 2002)
- À l'aide d'un couteau ou d'une lame tranchante, le prélèvement des lichens est effectué délicatement à partir de la surface de l'écorce, en veillant à ne pas endommager les structures lichéniques. Pour les lichens les plus petits une pince et une loupe (X5) sont utilisées pour les manipuler. En effet, il est recommandé de prélever un thalle entier pour l'identification des espèces. Ainsi, pour les lichens crustacés, un petit fragment de l'écorce contenant l'échantillon a été prélevé, suffisant pour représenter leur développement.
- Ensuite, les échantillons sont placés dans des sachets en papier sulfurisé (et non en plastique) pour éviter l'excès d'humidité, et de conserver les échantillons dans leur état naturel. Chaque échantillon étant étiqueté avec les informations du site, la date, le type d'arbre et l'orientation (nord, sud, etc.).



**Figure 12** : Quadrillage sur un olivier face l'ouest.

### 2.1.2. Identification des lichens

L'identification des espèces de lichens repose essentiellement sur l'analyse des caractéristiques morphologiques du thalle. Pour ce faire, une loupe binoculaire (Figure 13) est utilisée, permettant l'observation des structures reproductrices, qu'elles soient sexuées ou asexuées, ainsi que d'autres éléments essentiels à la distinction entre les différentes espèces. Ci-après sont présentés les principaux critères utilisés pour l'identification des lichens



**Figure 13:** L'identification des espèces lichéniques par une loupe binoculaire

D'après les travaux de **Nimis et al. (2002)**.

#### **a. Thalle:**

Le thalle représente la structure principale du lichen. Il peut adopter différentes formes morphologiques :

- **Foliacé**
- **Crustacé**
- **Fruticuleux**

#### **b. Couleur:**

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

---

La couleur du thalle est un critère visuel utile à l'identification. Elle varie d'un lichen à l'autre : certaines espèces sont vertes, grises, jaunes, orangées ou brunes. Ces teintes peuvent fluctuer en fonction de facteurs environnementaux tels que l'humidité ou l'exposition à la lumière.

### c. Texture:

La texture du thalle peut être lisse, rugueuse, granuleuse ou écailleuse. Cette variation texturale offre un élément supplémentaire permettant de différencier les espèces.

### d. Structures reproductrices :

Certains lichens présentent des structures spécialisées liées à la reproduction :

- **Apothécies** : structures discoïdes ou en coupe, visibles à la surface du thalle, contenant les organes de reproduction sexuée.
- **Soralies** : formations poudreuses ou granuleuses, assurant la reproduction asexuée par dissémination de propagules associant cellules fongiques et algues.

Pour l'identification des espèces recensées, plusieurs clés ont été utilisées, notamment celles fournies par l'**Association française de lichénologie** via le site <http://www.afli-lichenologie.fr> et le manuel de (Brodo et al., 2001), qui constituent des références fiables dans le domaine de la lichénologie .

## 2.2 Evaluation de la qualité d'air

### 2.2.1 Par les méthodes qualitatives :

#### 2.2.1.1 Échelle de Hawksworth & Rose (1970) :

L'échelle de Hawksworth & Rose (1970) est une méthode qualitative qui permet d'estimer le niveau de pollution de l'air par le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) à travers l'observation des lichens épiphytes. Elle repose sur la présence ou l'absence d'espèces sensibles ou tolérantes, réparties en dix zones indicatives. Bien que des valeurs approximatives de SO<sub>2</sub> soient associées à chaque zone, la méthode reste qualitative, car elle ne repose pas sur des mesures instrumentales.

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

**Tableau 2 :**Échelle de sensibilité des lichens épiphytes au dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) selon Hawksworth & Rose (1970)

ZONES	ESPECES DE LICHENS	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
<b>0</b>	Epiphytes absent.	?
<b>1</b>	<i>Pleurococcus viridis</i> s.l. présent uniquement à la base du tronc	<b>Environ 170µg/m<sup>3</sup></b>
<b>2</b>	<i>P. viridis</i> s.l. monte le long du tronc ; <i>Lecanora conizaeoides</i> présent à la base	<b>Environ 150µg/m<sup>3</sup></b>
<b>3</b>	<i>L. conizaeoides</i> monte ; <i>Lepraria incana</i> fréquente à la base	<b>Environ 125µg/m<sup>3</sup></b>
<b>4</b>	<i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia saxatilis</i> , <i>P. sulcata</i> à la base ; <i>Lecidea scalaris</i> , <i>Lecanora expallens</i> , <i>Chaenotheca ferruginea</i> souvent présentes	<b>Environ 70µg/m<sup>3</sup></b>
<b>5</b>	<i>H. physodes</i> ou <i>P. saxatilis</i> montent jusqu'à 25 cm ; apparition de <i>P. glabratula</i> , <i>P. subrudecta</i> , <i>Parmeliopsis ambigua</i> , <i>Lecanora chlorotera</i> ; présence possible de <i>Calicium viride</i> , <i>Lepraria andalusica</i> , <i>Pertusaria amara</i> , <i>Ramalina farinacea</i> , <i>Evernia prunastri</i> ; <i>Platismatia glauca</i> parfois sur les	<b>Environ 60µg/m<sup>3</sup></b>

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

	branches.	
<b>6</b>	<i>P. caperata</i> présente à la base ; espèces riches de <i>Pertusaria</i> , <i>Graphis elegans</i> , <i>Usnea</i> , <i>Alectoria</i> localement présentes.	<b>Environ 50µg/m<sup>3</sup></b>
<b>7</b>	<i>P. caperata</i> , <i>P. revoluta</i> (sauf NE), <i>P. sulcata</i> , <i>P. subrudecta</i> ; <i>Usnea</i> , <i>Ramalina</i> , <i>Rinodina roboris</i> , <i>Arthonia impolita</i> localement.	<b>Environ 40µg/m<sup>3</sup></b>
<b>8</b>	<i>Usnea ceratina</i> , <i>Parmelia perlata</i> , <i>P. reticulata</i> (S et O) ; <i>Rinodina roboris</i> , <i>P. rubiginosa</i> (S) montent jusqu'à 1 m.	<b>Environ 35µg/m<sup>3</sup></b>
<b>9</b>	<i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>L. amplissima</i> , <i>Pachyphiale cornea</i> , <i>Dimerella lutea</i> , <i>Jana florida</i> bien développés.	<b>Environ 30µg/m<sup>3</sup></b>
<b>10</b>	<i>L. amplissima</i> , <i>L. scrobiculata</i> , <i>Sticta limbata</i> , <i>Pannaria</i> spp., <i>Usnea articulata</i> , <i>Teloschistes flavicans</i> très abondantes localement.	<b>Pur</b>

### 2.2.1.2 Échelle de Van-Haluwyn & Lerond (1986):

Cette méthode utilise les principes de la phytosociologie pour évaluer la pollution de l'air à travers les communautés de lichens. Une communauté de plusieurs espèces donne plus d'informations qu'un seul lichen isolé. Quand la pollution augmente, ces communautés se dégradent et deviennent moins diversifiées. Les auteurs ont donc sélectionné des espèces faciles à reconnaître pour créer une échelle de pollution composée de **7 zones**, de **A (air très pur)** à **G (air très pollué)**.

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

**Tableau 3:**Liste des espèces utilisées et principales caractéristiques pour la reconnaissance sur le terrain (Gavériaux, 2009) .

	Pollution	Critères d'identification des principaux lichens utilisés pour la cartographie de la qualité de l'air(méthode Van Haluwyn & Lerond) par Jean-Pierre Gavériaux (2009)
<b>A</b>	<b>Extrême</b>	Pas de lichens - <i>Pleurococcus viridis</i> (algue) parfois attaqué par <i>Athelia arachnoidea</i> (champignon)
<b>B</b>	<b>Très forte</b>	<i>Amandinea</i> (= <i>Buellia</i> ) <i>punctata</i> (c) thalle C-, nombreuses petites apothécies globuleuses noires. <i>Lecanora conizaeoides</i> (c) thalle d'aspect granuleux (sorédié) C-, gris-vert, très petites apothécies lécanorines (0,5-1 mm) dispersées à disque brun jaunâtre clair.
<b>C</b>	<b>Forte</b>	<i>Lecanora expallens</i> (c) thalle d'aspect granuleux (sorédié) C+ orange, toujours stérile. <i>Lepraria incana</i> (c) thalle granuleux, gris-vert ± bleuâtre, dans les parties ombragées.
<b>D</b>	<b>Assez forte</b>	<i>Diploicia canescens</i> (c) thalle en rosette, gris clair nuancé de vert bleuâtre, à lobes marginaux imitant des cannelures, partie centrale granuleuse (nombreuses soralies plus claires). <i>Lecidella elaeochroma</i> (c) thalle C+ orange, bordé d'une ligne hypothallique noire, nombreuses petites apothécies globuleuses noires. <i>Phaeophyscia orbicularis</i> (fo) petites rosettes vertes à lobes rayonnants, à partie centrale sorédiée (soralies gris vert ± sombre), à rhizines débordant le thalle. Occupe souvent des surfaces importantes par coalescence de nombreux petits thalles.

		<p><i>Physcia tenella</i> (fo) nombreux lobes étroits gris-vert ± bleuâtre, munis de cils marginaux, à extrémités aplaties, élargies, portant des soralies labriformes (en forme de lèvres), thalle K+ (jaune).</p> <p><i>Xanthoria polycarpa</i> (fo) K+ rouge, apothécies abondantes, thalle très réduit.</p>
<b>E</b>	<b>Moyenne</b>	<p><i>Candelariella xanthostigma</i>(c) thalle K-, formé de granulations dispersées, jaune ± orangé, stérile.</p> <p><i>Evernia prunastri</i> (fr) ramifications en lanières pendantes, à face sup. verte et face inf. blanche, nombreuses soralies marginales.</p> <p><i>Hypogymnia physodes</i> (fo) lobes creux, de 2-3 mm de large, gris-bleu (± verdâtre) en forme de gouttière retournée, élargis aux extrémités pour donner des soralies labriformes, pas de rhizines sur le face inf.</p> <p><i>Parmelia sulcata</i> (fo) lobes bleu-vert, larges de 5 mm avec un réseau de fissures claires donnant des soralies, médulle et soralies C- (C+ chez P. subrudecta).</p> <p><i>Physcia adscendens</i> (fo) extrémité des lobes élargies et recourbées en forme de capuchon, Thalle K+ (jaune).</p> <p><i>Physconia grisea</i> (fo) lobes gris ± pruveux avec des soralies blanchâtres granuleuses vers la périphérie.</p> <p><i>Pseudevernia furfuracea</i> (fr) lanières à face sup. grise, fortement isidiée et face inf. noirâtre (ou blanchâtre)</p> <p><i>Xanthoria parietina</i> (fo) ) K+ rouge, thalle développé, apothécies uniquement dans la partie centrale.</p>
<b>F</b>	<b>Faible</b>	<p><i>Pleurosticta</i>(= <i>Parmelia</i>) <i>acetabulum</i> (fo) thalle vert bronze devenant vert clair au contact de l'eau.</p> <p><i>Flavoparmelia caperata</i> (fo) lobes jaune verdâtre, larges de 0,5 à 1,3 cm, médulle K+ jaune.</p>

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

		minuscules, dressés, serrés les uns contre les autres, aux extrémités très découpées, sinueuses et sorédiées.
<b>G</b>	<b>Très faible</b>	<p><i>Anaptychia ciliaris</i> (<i>fr</i>) lobes en lanières, pubescents, ± étalés, munis de cils marginaux brun-noir.</p> <p><i>Parmotrema</i> (= <i>Parmelia</i>) <i>perlata</i> (<i>fo</i>) lobes gris-bleu, ascendants, 1,5 cm de large à l'extrémité, avec des soralies marginales blanches ± globuleuses.</p> <p><i>Hypotrachyna</i> (= <i>Parmelia</i>) <i>revoluta</i> (<i>fo</i>) lobes gris-bleu, révolutes (retournés vers le substrat).</p> <p><i>Physcia aipolia</i> (<i>fo</i>) lobes étroits, gris, dépourvus de cils marginaux, nombreuses apothécies à disque gris bleuâtre.</p> <p><i>Physconia distorta</i> (<i>fo</i>) lobes étroits, gris, prumineux, nombreuses apothécies à disque prumineux, rhizines noires perpendiculaires au thalle.</p> <p><i>Ramalina fraxinea</i> (<i>fr</i>) lobes aplatis, longs (jusque 15-20 cm), verts sur les 2 faces, pendants, avec des apothécies latérales (pas uniquement sur frêne).</p>

### 2.2.1.3 Échelle Illustrée de Dalby (1981) :

Les lichens sont utilisés comme bioindicateurs efficaces de la qualité de l'air en raison de leur sensibilité aux polluants atmosphériques, notamment le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). Cette méthode repose sur l'observation de la diversité spécifique et de l'abondance des lichens présents sur les troncs d'arbres ou autres supports. Une forte diversité indique un air pur, tandis qu'en zone polluée, seules quelques espèces tolérantes subsistent, voire aucune. L'échelle de Dalby (1981) permet d'établir une relation entre la richesse lichénique observée et la concentration de SO<sub>2</sub> dans l'air .



Figure 14 :Echelle illustrée de la pollution de l’air de Dallby(1981)

#### 2.2.1.4 Échelle adaptée par Tiévant (2001) :

Cette troisième méthode qualitative a été élaborée à partir de la méthode de **Van Haluwyn & Lerond (1993)** ainsi que des travaux de Déruelle et al. (1983). À l’instar des méthodes précédentes, elle permet d’estimer la qualité de l’air en évaluant la concentration de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) en µg/m<sup>3</sup>, en fonction de la présence ou de l’absence de certains lichens (voir tableau 03). Cette méthode classe ainsi les sites étudiés en différentes zones, allant de la zone 0 (où la concentration en SO<sub>2</sub> dépasse 180 µg/m<sup>3</sup>) à la zone 10 (correspondant à un air pur).

**Tableau 4:**Quelques lichens typiques des zones de concentrations progressives en SO<sub>2</sub> sur écorces (Tiévant, 2001)

Zone	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Lichens sur écorce à tendance acide	Lichens sur écorce à tendance basique (plutôt lisse)
0	>170	Aucun	Aucun
1	Environ 170	<i>Pleurococcus viridis</i> à la base des troncs	<i>Pleurococcus viridis</i> sur tout le tronc

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

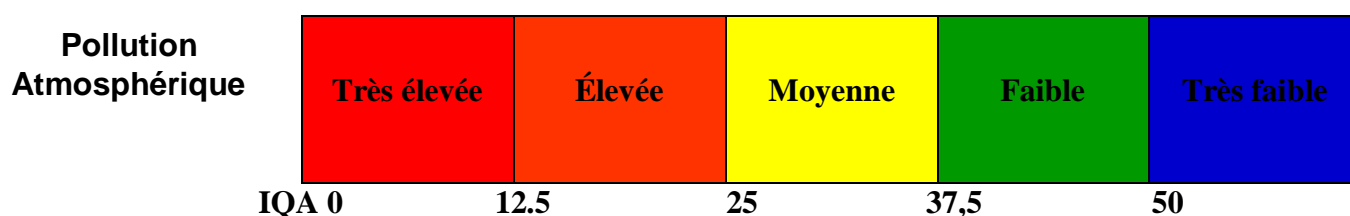
2	Environ 150	<i>Pleurococcus viridis</i> sur tout le tronc ; <i>Lecanora conizaeoides</i> à la base des troncs	<i>Lecanora conizaeoides</i> abondant ; <i>Lecanora expallens</i> parfois à la base
3	Environ 125	<i>Lecanora conizaeoides</i> sur tout le tronc ; <i>Lepraria incana</i> à la base des troncs	<i>Lecanora expallens</i> , <i>Buellia punctata</i> sur tout le tronc ; <i>Diploicia canescens</i> apparaît
4	Environ 70	<i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia saxatilis</i> , <i>Parmelia sulcata</i> à la base des troncs ; <i>Lecanora expallens</i> fréquent	<i>Diploicia canescens</i> commun ; <i>Physcia adscendens</i> et <i>Xanthoria parietina</i> à la base des troncs
5	Environ 60	<i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia saxatilis</i> sur tout le tronc ; <i>Parmelia glabratula</i> , <i>Lecanora chlorotera</i>	<i>Physcia orbicularis</i> , <i>Physcia tenella</i> , <i>Ramalina farinacea</i> , <i>Xanthoria parietina</i> , <i>Candelaria</i> apparaissent ; <i>Diploicia canescens</i> et <i>Xanthoria parietina</i>
6	Environ 50	<i>Parmelia caperata</i> au moins à la base ; <i>Parmelia revoluta</i> , <i>Parmelia tiliceae</i> et <i>Parmelia exasperatula</i> à la base des troncs ; <i>Graphis elegans</i> , <i>Pertusaria albescens</i> apparaissent ; <i>Pseudevernia furfuracea</i>	<i>Pertusaria albescens</i> , <i>Physconia distorta</i> et <i>Xanthoria polycarpa</i> apparaissent ; <i>Physcia orbicularis</i> et <i>Physconia grisea</i> abondants
7	Environ 40	<i>Parmelia caperata</i> , <i>Parmelia revoluta</i> , <i>Parmelia tiliceae</i> ,	<i>Physcia aipolia</i> , <i>Anaptychia ciliaris</i> , <i>Ramalina fastigiata</i> et <i>Candelaria</i>

## Chapitre 2 : Matériels et méthodes

		<i>Parmelia exasperatula</i> sur tout le tronc	<i>concolor</i> apparaissent
8	Environ 35	<i>Parmelia perlata</i> , <i>Usnea ceratina</i> , <i>Normandina pulchella</i> apparaissent	<i>Physcia aipolia</i> abondant ; <i>Parmelia perlata</i> apparaît
9	Environ 30	<i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>Lobaria amplissima</i> , <i>Usnea florida</i>	<i>Ramalina calicaris</i> , <i>Ramalina fraxinea</i> , <i>Physcia leptalea</i> , <i>Caloplaca aurantiaca</i>
10	« Pur »	<i>Lobaria scrobiculata</i> , <i>Sticta limbata</i> , <i>Usnea filipendula</i> , <i>Teloschistes flavicans</i>	<i>Ramalina calicaris</i> , <i>Ramalina fraxinea</i> , <i>Physcia leptalea</i>

### 2.2.2 La méthode quantitative : Indice de Qualité de l'air (IQA) :

La détermination d'indice de la qualité de l'air (IQA) repose sur la somme des fréquences Moyennes rencontrées sur six arbres (VDI, 1995), reprise par **Kirschbaum & Wirth (1997)**, il est en lien direct avec la pollution atmosphérique. Cet indice est reporté sur une échelle de l'évaluation de la pollution de l'air.



**Figure 15 :** Échelle de correspondance entre l'IQA et la pollution

# **Chapitre 3**


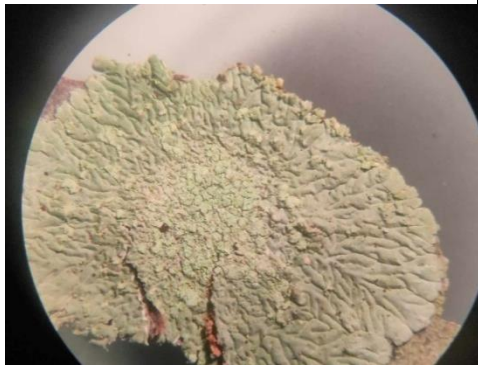
## **Résultats et discussion**

### 1. Présentation des résultats :

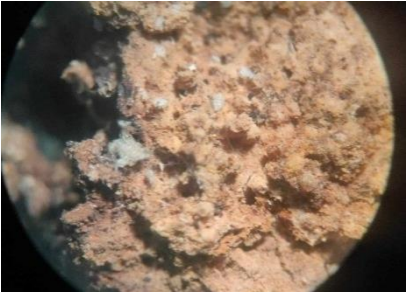


#### 1-1 Identification des espèces lichéniques :

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité de l'air à l'aide des lichens. La première étape a consisté en la collecte et l'identification des espèces lichéniques présentes sur deux sites d'échantillonnage, à savoir : **kerkera** (site 1) et **Oued Z'hour** (site 2). Les espèces lichéniques identifiées, leurs caractéristiques principales permettant leur reconnaissance, ainsi que leur site de présence, sont présentées dans le tableau ci-dessous.



**Tableau 5:** Liste des espèces lichéniques identifiées sur les deux sites (site 1 : kerkera site 2 : Oued Z'hour)

Site de collecte	Espèce	Famille	Type de thalles	Quelque caractéristique
Site 1	  <b>Figure16</b> : <i>Diploicia canescens</i> (Dicks.) A. Massal	Caliciaceae	Crustacé	Couleur Gris clair.  Nombreuses soralies au centre




### Chapitre 3 : Résultats et discussion

<p>Site 1</p>	 <p><b>Figure 17</b> : <i>Graphis</i> sp.</p>	<p>Graphidaceae</p>	<p>Crustacé</p>	<p>Le thalle est souvent mince et peut être lisse, rugueux ou légèrement fissuré. Sa couleur peut varier du gris-verdâtre pâle au gris-blanchâtre.</p>
<p>Site 2</p>	  <p><b>Figure18</b> : <i>Parmotrema perlatum</i> (Huds.) M. Choisy</p>	<p><i>Parmeliaceae</i></p>	<p>Foliacé</p>	<p>Lobes larges, - présence d'une zone marginale nue à la face inférieure des lobes, - spores ellipsoïdales à paroi épaisse</p>

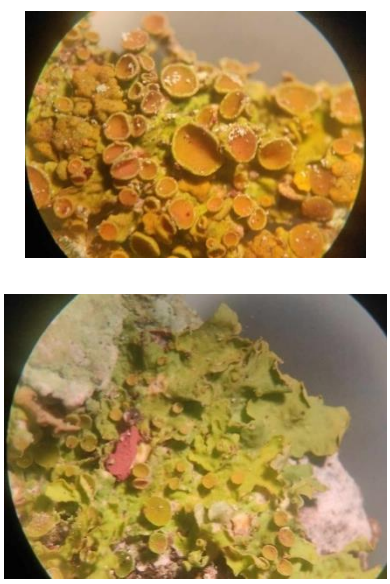
### Chapitre 3 : Résultats et discussion

<p>Site 1, Site 2</p>	 <p><b>Figure19</b> :<i>Physcia clementei</i> (Schaer.) Moberg</p>	<p>Physciaceae</p>	<p>Foliacé</p>	<p>Lobes courts et larges. Couleur gris argenté à gris bleuté. Présence de macules blanches caractéristiques sur la surface. Apothécies Nombreuses, circulaires. Disque brun foncé à noir, entouré d'une marge thalline pâle. Absence de sorédies et d'isidies.</p>
<p>Site 1, Site 2</p>	 <p><b>Figure20</b> :<i>Physcia semipinnata</i> (J. Steiner) Nyl.</p>	<p>Physciaceae</p>	<p>Foliacé</p>	<p>Gris pâle à verdâtre La forme plus ou moins circulaire Les apothécies noires</p>
<p>Site 1</p>		<p>Physciaceae</p>	<p>Foliacé</p>	<p>Foliacé assez rigide, gris clair, lobes larges de (0,5)1(1,5) mm, plats, bords des lobes finement découpés et à</p>




### Chapitre 3 : Résultats et discussion

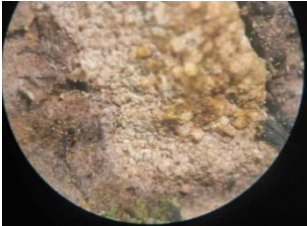
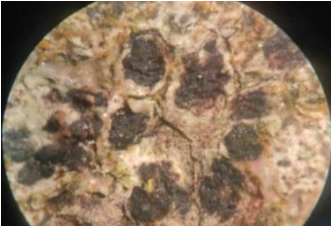

	 <p><b>Figure21</b> : <i>Physcia tribacia</i> (Ach.) Nyl.</p>			divisions arrondies.
Site 1	 <p><b>Figure 22</b> : <i>Ramalina canariensis</i> J. Steiner</p>	Ramalinaceae	Fruticuleux	En forme de buisson ou de touffes, avec des lanières aplaties et ramifiées Gris-vert à vert pâle
Site 1, Site 2	 <p><b>Figure 23</b> : <i>Lepraria sp</i></p>	Stereocaulaceae	Crustacé	Thalle Poudreux, la couleur varient, les sorédies

### Chapitre 3 : Résultats et discussion

<p>Site 1</p>	 <p><b>Figure 24 :</b> <i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.</p>	<p>Teloschistaceae</p>	<p>Foliacé</p>	<p>Thalle jaune, orange. Présence D'apothécies formant des rosettes irrégulières lobe aplatis</p>
---------------	---	------------------------	----------------	---




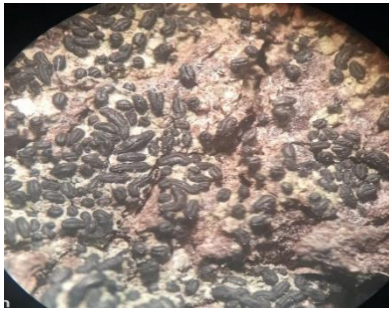
En raison du manque de réactifs de coloration en laboratoire et d'un équipement adapté, il n'a pas été possible de procéder aux examens microscopiques. Ainsi, l'identification de certains échantillons s'est arrêtée au niveau du genre, et pour d'autres espèces, elle n'a pas pu être réalisée.

 <p><b>Figure 25 :</b> Photographie d'un lichen non identifié X1</p>	 <p><b>Figure 26 :</b> Photographie d'un lichen non identifié X2</p>	 <p><b>Figure 27 :</b> Photographie d'un lichen non identifié X3</p>
---	---	--

		
<p><b>Figure 28</b> : Photographie d'un lichen non identifié X4</p>	<p><b>Figure 29</b> : Photographie d'un lichen non identifié X5</p>	<p><b>Figure 30</b> : Photographie d'un lichen non identifié X6</p>

**Planche 3** : Photographies représentatives de quelques espèces non identifiées.

Un autre site situé à Skikda, « Quartier Espérance », a été initialement envisagé pour l'étude. Cependant, il a été écarté en raison de la dominance d'espèces à thalles crustacés, dont l'identification s'est révélée très difficile en l'absence de moyens d'observation microscopique appropriés.

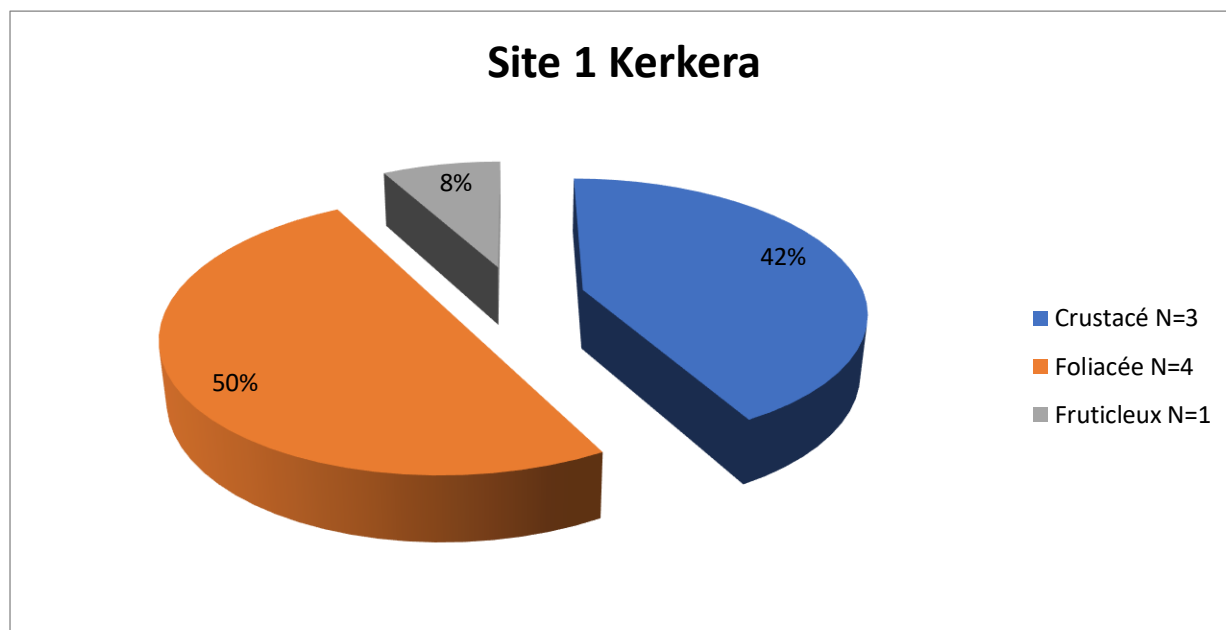
	
<p><b>Figure 31</b> : Photographie d'un lichen non identifié X10</p>	<p><b>Figure 32</b> : Photographie d'un lichen non identifié X11</p>
	
<p><b>Figure 33</b> : Photographie d'un lichen non identifié X12</p>	<p><b>Figure 34</b> : Photographie d'un lichen non identifié X13</p>

**Planche 4** : Photographies de quelques espèces de lichens crustacés prélevés du quartier « Espérance, Skikda »

### 1. 2. Comparaison de la diversité lichénique entre les deux sites :

#### 1.2.1 Diversité lichénique au niveau du site 1 de kerkerera :

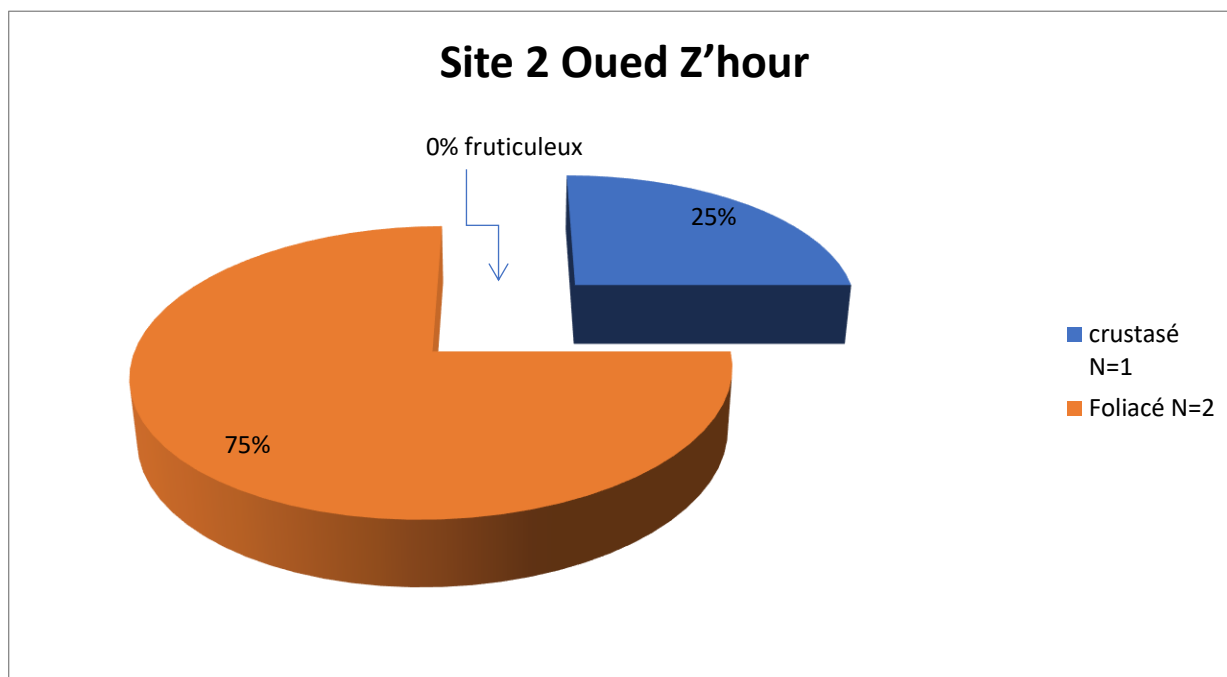
Les lichens recensés au niveau du site de Kerkerera présentent différents types de thalles. Ainsi, 42 % des espèces ont un thalle crustacé, 50 % un thalle foliacé, et 8 % un thalle fruticuleux. Ces résultats indiquent que les espèces à thalle foliacé sont les plus abondantes dans ce site (figure36).



**Figure 35** : La distribution de la diversité des lichens dans le site 1 kerkerera

#### 1.2.2 Diversité lichénique au niveau du site 2 de Oued Z'hour :

Les lichens recensés au niveau du site de Oued Z'hour présentent également une diversité de thalles. Toutefois, 75 % des espèces sont foliacées, 25 % crustacées, et aucune espèce fruticuleuse n'a été observée. Ces résultats montrent une nette dominance des espèces à thalle foliacé dans ce site (figure37)



**Figure 36 :** La distribution de la diversité des lichens dans le site2 Oued Z'hour

La comparaison des deux sites indique la présence des espèces à thalle crustacé dans le site 1 (Kerkera) à hauteur de 42 %, contre 25 % dans le site 2 (Oued Z'hour). En revanche, les espèces à thalle foliacé sont plus abondantes dans le site 2 avec 75 %, contre 50 % dans le site 1. Quant aux espèces à thalle fruticuleux, elles sont totalement absentes du site 2 (0 %), alors qu'elles représentent 8% des espèces observées dans le site 1.

### 1.3. Evaluation de la qualité de l'air par les méthodes qualitatives et quantitatives :

#### 1.3.1. Méthodes qualitatives :

##### 1 .3.1.1 Echelle de Hawksworth & Rose (1970) :

L'échelle de Hawksworth & Rose (1970) utilise les espèces lichéniques comme bioindicateurs pour estimer la qualité de l'air, en associant chaque espèce à un niveau de concentration spécifique en dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>).

**Tableau 6: Estimation de la qualité de l'air des sites selon la méthode de Hawksworth & Rose (1970)**

### Chapitre 3 : Résultats et discussion

ZONES	Espèce lichénique présente selon l'échelle adaptée l'estimation de la qualité de Hawksworth & Rose (1970)	Sites	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>
05	<i>Lepraria sp</i>	Site 02	Environ 60µg/m <sup>3</sup>
(05 ,06 , 07 )	<i>Graphis sp , Ramalina cananiensis ,Lepraria sp</i>	Site 01	Environ (40µg/m <sup>3</sup> ,50µg/m <sup>3</sup> ,60µg/m <sup>3</sup> )

Les résultats obtenus à l'aide de l'échelle de **Hawksworth et Rose (1970)** révèlent une variation du niveau de pollution atmosphérique du site 01, qui présente à son tour une variation par rapport au site 02.

En effet, au site 01, la coexistence d'espèces comme *Lepraria sp* , *Graphis sp* et *Ramalinac anariensis* permet d'estimer une concentration en dioxyde de soufre située entre 40 et 60 µg/m<sup>3</sup>, Au site 02, seule la présence de *Lepraria sp*. A été notée parmi les espèces référencées par l'échelle, ce qui suggère une concentration plus élevée, proche de 60 µg/m<sup>3</sup>.

#### 1 .3.1.2 Echelle de Van Haluwyn & Lerond (1986) :

L'estimation de la qualité de l'air dans les deux sites d'étude (Site 01 : **Kerkera**, Site 02 : **Oued Z'hour**) a été réalisée selon la méthode de **Van Haluwyn & Lerond (1986)**. Cette évaluation repose sur la présence d'espèces lichéniques bioindicatrices du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), réparties en classes de pollution atmosphérique. Le tableau suivant synthétise la classification des sites selon les espèces retrouvées :

**Tableau 7:** Estimation de la qualité de l'air des sites selon la méthode de Van Haluwyn & Lerond (1986)

Sites	Classe	Pollution SO <sub>2</sub>	Espèce lichénique présente selon l'échelle d'estimation de la qualité de l'air d'après VanHaluwyn & Leron
Site 01	C	<b>Forte</b>	<i>Lepraria sp</i>

### Chapitre 3 : Résultats et discussion

	D	Assez forte	<i>Diploicia canescens</i>
	E	Moyenne	<i>Xanthoria parietina</i>
Site 02	C	Forte	<i>Lepraria sp.</i>
	G	Très faible	<i>Parmotrema perlatum</i>

Les résultats obtenus à partir de l'échelle de **Van Haluwyn & Lerond (1986)** révèlent une qualité de l'air variable entre les deux sites étudiés. Le site de **Kerkera** présente une pollution allant de moyenne à forte comme l'indiquent les espèces *Lepraria sp.*, *Diploicia canescens* et *Xanthoria parietina*. En revanche, le site **d'Oued Z'hour** se distingue par deux classes de pollution complètement opposées, illustrées par la présence de *Parmotrema perlatum*, espèce caractéristique des zones très peu polluées (classe G) et *Lepraria sp* forte.

#### 1.3.1.3 Echelle Illustrée de Dalby (1981) :

L'échelle illustrée de **Dalby (1981)** permet d'estimer la qualité de l'air à partir de la concentration en dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) selon la présence d'espèces lichéniques indicatrices. Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus pour les deux sites étudiés.

**Tableau 8:** Estimation de la qualité de l'air des stations selon L'échelle de Dalby (1981)

SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	Site	Espèce lichénique présente selon l'estimation de la qualité de l'air de Dalby (1981)
(50 – 100) µg/m <sup>3</sup>	Kerkera	<i>Diploicia canescens</i> <i>Graphis sp,</i> <i>Xanthoria parietina</i>

Selon l'échelle de **Dalby (1981)**, les espèces identifiées dans la station de **Kerkera** indiquent une concentration de SO<sub>2</sub> comprise entre **50 et 100 µg/m<sup>3</sup>**, traduisant une qualité de l'air **modérément polluée**.

### Chapitre 3 : Résultats et discussion

---

Cependant pour le site 02 d'Oued Z'hour l'estimation de la qualité de l'air par l'échelle de Dalby 1981 n'a pas pu être réalisée, du fait que les espèces collectées de ce site à savoir ,ne figurent pas dans cette l'échelle

#### 1 .3.1.4 Echelle adapté par Tiévant (2001) :

L'échelle adaptée par Tiévant (2001) permet d'estimer la qualité de l'air à partir de la présence d'espèces lichéniques indicatrices, en les associant à des plages de concentrations en dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>).

**Tableau 9:** Estimation de la qualité de l'air des stations selon L'échelle adapté par Tiévant (2001)

Zone	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	Sites	Espèce lichénique présente selon l'échelle adaptée l'estimation de la qualité de l'air par Tiévant (2001)
( 3,4,5,6)	Environ (125,70, 60,50µg/m <sup>3</sup> )	Site 01 (karkra)	<i>Lepraria sp</i> , <i>Diploicia canescens</i>  <i>Xanthoria parietina</i>  , <i>Grapis sp</i>
(3)	Environ (125µg/m <sup>3</sup> )	Site 02 (Oued Z'hour)	<i>Lepraria sp</i> ,

L'analyse selon l'échelle de Tiévant (2001) indique que le site 01 (Kerkera) présente une pollution atmosphérique avec des espèces tolérantes à différentes concentrations de SO<sub>2</sub> allant de 125 µg/m<sup>3</sup> à 50 µg/m<sup>3</sup>. Le site 02 (Oued Z'hour), quant à lui, montre une pollution plus marquée (environ 125 µg/m<sup>3</sup>) selon la présence exclusive de *Lepraria sp* , espèce tolérante aux milieux pollués.

❖ **Comparaison des quatre échelles de l'estimation qualitative de l'air des deux sites d'études :**

Le tableau ci-dessous présente une comparaison de l'évaluation de la qualité de l'air dans les deux sites d'étude, selon quatre méthodes qualitatives différentes basées sur la sensibilité des lichens à la pollution atmosphérique

**Tableau 10:** Comparaison de l'évaluation de la qualité de l'air des stations d'étude par les échelles qualitatives.

Méthodes Sites	Echelle de <b>Hawksworth &amp; Rose (1970)</b>	Echelle de <b>Van Haluwyn &amp; Lerond (1986)</b>	Echelle illustrée de <b>Dalby (1981)</b>	Echelle adapté par <b>Tiévant (2001)</b>
Site 01	La quantité de SO <sub>2</sub> entre (40µg/m <sup>3</sup> ,50µg/m <sup>3</sup> ,60µg/m <sup>3</sup> )	Niveau : Pollution de <b>moyenne à forte</b>	La quantité de SO <sub>2</sub> entre (50 – 100) µg/m <sup>3</sup>	La quantité de SO <sub>2</sub> est de l'ordre de (70, 60 ,50) µg/m <sup>3</sup> à 125 µg/m <sup>3</sup>
Site 02	Environ 60µg/m <sup>3</sup>	Niveau : Pollution de <b>très faible à forte</b>		Environ (125µg/m <sup>3</sup> )

L'analyse comparative basée sur les résultats obtenus montre que le site de **Kerkera** présente une pollution atmosphérique allant de moyenne à assez forte, avec des concentrations en SO<sub>2</sub> estimées entre 40 et 125 µg/m<sup>3</sup> selon les différentes échelles utilisées. Les espèces relevées comme *Lepraria sp* , *Diploicia canescens* , *Xanthoria parietina* ou *Graphis sp* en sont les indicateurs. En revanche, le site de **Oued Z'hour**, où seule l'espèce indicatrice d'une forte pollution *Lepraria sp* a été observée, indiquant une concentration en SO<sub>2</sub>de l'ordre de125 µg/m<sup>3</sup>. Présente en contradiction, une indication d'une pollution très faible, répertoriée uniquement par

### Chapitre 3 : Résultats et discussion

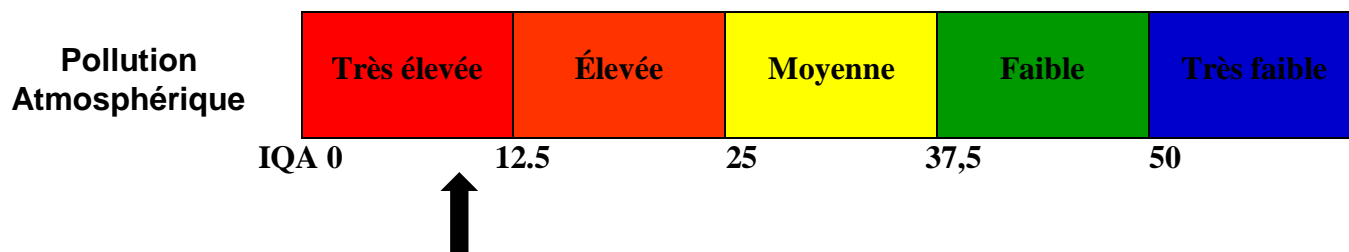
l'échelle de **Van Haluwyn & Lerond (1986)**, par la présence de l'espèce indicatrice *Parmotrema perlatum*.

#### 1. 3.2 Méthodes quantitatives : Indice de qualité de l'air (IQA. kirschbaum & wirth, 1997):

Cet indice reflète par la somme des fréquences moyennes des espèces lichéniques, un indice de la pollution de l'air. Les tableaux 09 et 08 indiquent les indices de qualité de l'air du site 01 et 02, respectivement.

**Tableau 11:** Calcul de l'indice de qualité de l'air pour le Site 01 (kerkera)

Site : N°01	Localisation :kerkera						
Espèce de lichens	Arber 01	Arber 02	Arber 03	Arber 04	Arber 05	Arber 06	Fréquence Moyenne
<i>Diploicia canescens</i>	03	01	0	03	0	0	$= (3+0+3+0+0)2/6 = 2,33$
<i>Xantoria parietina</i>	02	0	01	02	0	0	$= (2+0+1+0+0)2/6 = 1,66$
<i>Physcia semipinnata</i>	01	0	0	0	0	0	$= (1)2/6 = 0,33$
<i>Ramalina cananiensis</i>	01	0	0	02	0	0	$= (1+2)2/6 = 1$
<i>Physcia clémentine</i>	0	03	03	04	0	0	$= (3+4+3)2/6 = 3,33$
<i>Physcia tribacia</i>	0	1	0	0	0	0	$= (1)2/6 = 0,33$
<i>Lepraria sp</i>	0	1	0	0	0	0	$= (1)2/6 = 0,33$
<i>Graphis sp</i>	0	0	0	1	0	0	$= (1)2/6 = 0,33$
Indice locale de la qualité de l'air (somme des fréquences)							=9,64



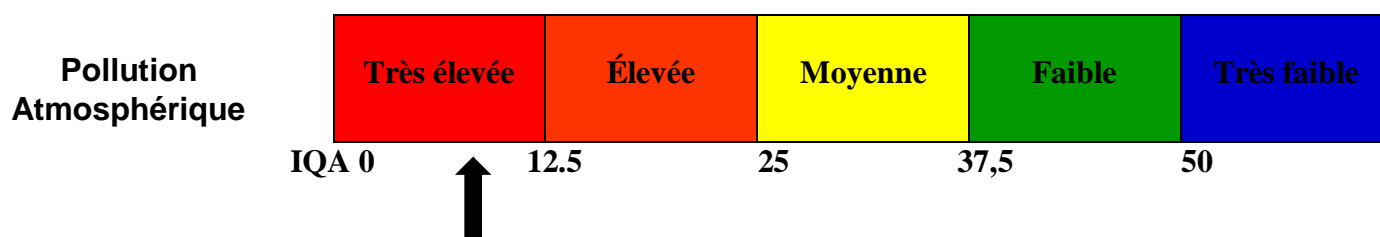
### Chapitre 3 : Résultats et discussion

**Figure 37 :** Niveau de pollution atmosphérique au site de kerkera selon l'échelle IQA de Kirschbaum & Wirth (1997)

La valeur de l'Indice de la qualité de l'Air (IQA), calculée à **9,64**, correspond à une pollution atmosphérique **très élevée** au site 01 (**kerkera**), selon l'échelle de **Kirschbaum & Wirth (1997)**, traduisant une qualité de l'air **très faible** et une forte pression des polluants, notamment du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), sur la diversité lichénique locale.

**Tableau 12:** Calcul de l'indice de qualité de l'air pour le Site 02 (Oued Z'hour)

Site : N°02	Localisation :Oued Z'hour						
Espèce de lichens	Arber 01	Arber 02	Arber 03	Arber 04	Arber 05	Arber 06	Fréquence Moyenne
<i>Lepraria sp</i>	3	7	1	2	1	4	$= (3+7+1+2+1+4)2/6$ =6,66
<i>Physcia clementei</i>	1	0	0	1	0	0	$= (1+1)2/6$ =0,66
<i>Parmotrema perlatum</i>	0	0	4	0	2	0	$= (4+2)2/6$ =2
Indice locale de la qualité de l'air (somme des fréquences)							9,32



**Figure 38 :** Niveau de pollution atmosphérique au site de Oued Z'hour selon l'échelle IQA de Kirschbaum & Wirth (1997)

La valeur de l'Indice de Qualité de l'Air (IQA), calculée à **9,32**, correspond à une **pollution atmosphérique très élevée** et une **qualité de l'air très faible** selon l'échelle de **Kirschbaum & Wirth (1997)**. Ce résultat met en évidence une altération marquée de la biodiversité lichénique locale dans la zone de **Oued Z'hour**.

#### Discussion :

Les sites étudiés à **Karkera** et **Oued Z'hour** présentent une diversité lichénique révélatrice de la qualité de l'air local. Au site de **Karkera**, la présence dominante d'espèces comme *Diploicia canescens*, *Xanthoria parietina*, *Physcia clementei* et *Graphis sp.* Indique une pollution atmosphérique très élevée, confirmée par un indice de qualité de l'air (IQA) de 9,64 selon l'échelle de **Kirschbaum & Wirth (1997)**. Ces espèces sont connues par leur capacité de vivre dans des environnements pollués. Elles supportent bien le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) (Conti & Cecchetti, 2001).

Cependant, à **Karkera**, on observe une légère augmentation de la diversité lichénique. Cela peut être expliqué par une végétation plus dense et des conditions locales plus favorables. Mais la disparition d'espèces sensibles comme *Ramalina canariensis* montre que l'air continue de se dégrader.

À Oued Z'hour, l'indice IQA est également faible (9,32), ce qui reflète une pollution très élevée au même niveau du site de **Karkera**. Les espèces identifiées, comme *Lepraria sp.* et *Physcia clementei*, sont tolérantes à la pollution. *Lepraria sp.*, par exemple, aime les endroits humides, un peu ombragés, et pollués (Purvis & Halls, 1996). Nous avons aussi trouvé une espèce plus sensible, *Parmotrema perlatum*. La présence de cette espèce est intéressante car elle est connue pour disparaître en cas de forte pollution (Kirschbaum & Wirth, 1997). D'où l'observation d'un nombre d'individus réduits par rapport à l'espèce tolérante *Lepraria sp.* (Tableau 12), témoignant le passage d'un environnement d'une bonne qualité d'air à celui d'un air pollué.

En général, il y a peu d'espèces sensibles. Les lichens qui aiment l'azote sont très présents, ce qui montre que l'air est toujours pollué. Même à **Oued Z'hour**, qui est une région rurale, La pollution peut venir de l'agriculture, des feux, de de la circulation automobile ou du vent qui transporte les polluants (van Haluwyn & Lerond, 2001).

Enfin, nous avons observé que la composition des lichens varie selon le type de milieu, ce qui confirme que les lichens sont de bons bioindicateurs de la qualité de l'air.

# **Conclusion**

## Conclusion

---

Notre étude s'inscrit dans une démarche écologique visant à évaluer la qualité de l'air à travers l'utilisation de bioindicateurs naturels, en particulier les lichens, reconnus pour leur sensibilité aux polluants atmosphériques. Elle a été menée dans deux régions contrastées de la wilaya de Skikda : **Kerkera**, zone à forte influence anthropique, et **Oued Z'hour**, de caractère plus rural.

Historiquement caractérisées par une bonne qualité de l'air et une richesse écologique importante, ces deux localités ont subi au fil du temps des transformations notables, dues à l'urbanisation croissante, à l'intensification des activités humaines (transports, agriculture, déforestation partielle) ainsi qu'au développement d'infrastructures diverses.

L'analyse lichénique, basée sur des approches qualitatives (**Hawksworth & Rose, Van Haluwyn & Lerond, Dalby, Tiévant**) et quantitatives (IQA de **Kirschbaum & Wirth, 1997**), a permis d'identifier neuf espèces, parmi lesquelles plusieurs indicatrices de pollution comme *Xanthoria parietina*, *Diploicia canescens* et *Lepraria sp.*

À **Oued Z'hour**, la baisse de la diversité spécifique et la dominance d'espèces nitrophiles et tolérantes à la pollution, telles que *Lepraria sp.* et *Physchia climentei* révèlent un IQA relativement faible. Ces espèces signalent une forte concentration en composés azotés ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ), directement liée aux apports anthropiques.

En revanche, le site de **Kerkera** présente une diversité lichénique légèrement plus élevée, probablement en raison de la présence d'un couvert végétal plus dense et d'un microclimat plus stable. Toutefois, la disparition de certaines espèces sensibles à la pollution, à l'instar de *Ramalina canariensis*, y indique également une dégradation progressive de la qualité de l'air (IQA = 9,64).

La dynamique observée entre les types de biotopes (urbains, forestiers, agricoles) montre que les milieux forestiers conservent mieux leur potentiel bioindicatif, tandis que les zones agricoles et périurbaines sont dominées par des espèces résistantes, traduisant une perturbation écologique notable. L'étude met ainsi en évidence une corrélation claire entre l'occupation du sol, le microclimat local et la diversité lichénique.

## **Conclusion**

---

En perspective, il serait pertinent d'élargir cette étude à d'autres localités de la région sur des périodes plus longues, en y intégrant des analyses complémentaires comme le dosage des métaux lourds accumulés dans les thalles. Ce type de suivi permettrait de renforcer les efforts de biosurveillance environnementale à long terme et de contribuer à la préservation de la biodiversité lichénique locale, encore largement sous-étudiée en **Algérie**.

## Références bibliographiques

---

- Asta, J., Erhardt, W., Ferretti, M., Fornasier, F., Kirschbaum, U., Nimis, P. L., Purvis, O. W., Scheidegger, C., van Haluwyn, C., & Wirth, V. (2002). Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. In: Nimis, P. L., Scheidegger, C., & Wolseley, P. A. (eds.), *Monitoring with Lichens — Monitoring Lichens*. NATO Science Series, Vol. 7. Springer.
- Atlas climatique de l'Algérie. (2011). *Atlas climatique de l'Algérie*. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Alger.
- Benabderrahmane, F., Boudyab, M., & Taleb, A. (2019). *Étude de la flore forestière dans la région de Skikda*. Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar Annaba.
- Brodo, I. M., Sharnoff, S. D., & Sharnoff, S. (2001). *Lichens of North America*. Yale University Press, New Haven, CT.
- Conti, M. E., & Cecchetti, G. (2001). Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environmental Pollution*, 114(3), 471–492.
- Dalby, K. (1981). *Lichens as bioindicators of air pollution*. University of Reading.
- Déruelle, S., Lambinon, J., & Duvigneaud, P. (1983). Les lichens comme indicateurs de la pollution atmosphérique par le dioxyde de soufre. *Bulletin de la Société Botanique de France*.
- Direction Générale des Forêts (DGF). (2015). *Rapport annuel sur les écosystèmes forestiers du Nord-Est algérien*. Ministère de l'Agriculture, Alger.
- EEA (European Environment Agency). (2020). *Air pollution sources and effects*. Disponible sur : <https://www.eea.europa.eu>
- Engler, R., & Lacoux, D. (2009). Compte-rendu de la session de l'AFL dans l'Hérault. *Bulletin de l'Association Française de Lichénologie*, 37(1).
- Gavériaux, J.-P. (2009). *Cartographie de la qualité de l'air par les lichens : méthode Van Haluwyn & Lerond*. Association Française de Lichénologie.
- Google Earth. (2025). *Images satellites consultées en mai 2025*. Disponible sur : <https://earth.google.com>
- Harmand, J. (1909). *Les Lichens*. Paul Lechevalier, Paris.
- Hawksworth, D. L., & Rose, F. (1970). Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227(5252), 145–148. <https://doi.org/10.1038/227145a0>
- Humbert, J. (2012). *Guide d'identification des lichens des arbres*. Éditions Biotope.

## Références bibliographiques

---

- Kirschbaum, U., & Wirth, V. (1997).** *Bioindikation der Luftqualität mit Flechten*. Umweltbundesamt, Texte 80/97.
- Nefronus.** (2019). *Structure d'un thalle de lichen – coupe transversale hétéromérique*. Wikipédia. Disponible sur : [https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Lichen\\_thallus\\_structure.svg](https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Lichen_thallus_structure.svg) (consulté le 06/07/2025) .  
Également consulté via : *bio.libretexts.org*.
- Nimis, P. L., Scheidegger, C., & Wolseley, P. A. (2002).** *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. NATO Science Series. Springer, Dordrecht.
- Nylander, W. (1866).** Les lichens du Jardin du Luxembourg comme indices de la pureté de l'air. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 13, 364–372.
- Office National de la Météorologie (ONM). (2020).** *Bulletin climatologique annuel de la wilaya de Skikda*. ONM, Alger.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2018).** *Pollution de l'air ambiant*. Disponible sur : <https://www.who.int>
- Ozenda, P., & Clauzade, G. (1970).** *Les Lichens : étude biologique et flore illustrée*. Masson, Paris.
- Purvis, O. W. (2000).** *Lichens*. Smithsonian Institution Press.
- Purvis, O. W., & Halls, C. (1996).** A review of lichens in metal-enriched environments. *The Lichenologist*, 28(6), 571–601.
- Semadi, A. (1988).** Inventaire des espèces lichéniques et leur répartition en fonction de l'intensité de la pollution atmosphérique dans la région de Annaba. *Annales de l'Institut National Agronomique El-Harrach*, 12(1), Tome 2, p. 642.
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016).** *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* (3e éd.). Wiley-Interscience.
- Tiévant, A. (2001).** Échelle d'interprétation lichénique de la pollution de l'air par le SO<sub>2</sub> adaptée aux régions méditerranéennes. Guide interne, AFL.
- Van Haluwyn, C., & Lerond, A. (1986).** Les lichens : bioindicateurs de la pollution de l'air. *Bulletin de l'Association Française de Lichénologie*, 11(1), 5–20.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure). (1995).** *Biological Measurement Procedures for Monitoring the Effects of Air Pollution on Epiphytic Lichens (Bioindikation)*. VDI Guideline 3957/13.