

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère De l'Enseignement Supérieur et De la Recherche Scientifique



Université Abbès Laghrour Khenchela  
Faculté des Sciences de la Nature Et de la Vie  
Département d'écologie et environnement

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Ecologie fondamentale et appliqué

## THÈME

**Evaluation des quantités d'aérosols solides sur le système foliaire du chêne vert et relation avec la dégradation de la chlorophylle**

**Présenté par:**

Kellil Abd Erahmane

Ghouari Merouan

**Devant le jury :**

**Président:** Mr Menasri Ammar (MAA, Université Abbès laghrour Khenchela)

**Examinatrice :** Mme Bensusi Karima (MAA, Université Abbès Laghrour khenchela)

**Encadreur :** Mlle Dellaa Yasmina (MCB, Université Abbès Laghrour khenchela)

Année universitaire : 2020/2021

# Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions Dieu, notre créateur de nous avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.*

*Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur de mémoire **Dr. Dellaa Yasmina** qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses directives depuis le début jusqu'à la fin de ce travail.*

*Nous tenons également à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font d'accepter d'examiner et de présider ce travail, tout particulièrement :*

***Mr Menasri Ammar** pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.*

*Nous souhaitons exprimer notre gratitude à **Mme Bensuici Karima** pour avoir examiné et évalué ce mémoire. Nous vous remercions pour l'intérêt que vous portez à ce travail et pour vos précieux conseils et remarques.*

*Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues et à tous ceux qui ont participé à la réalisation du travail.*

*Ainsi que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.*

*Kellil Abd Erahmane et Ghouari Merouan*

# **Evaluation des quantités d'aérosols solides sur le système foliaire du chêne vert et relation avec la dégradation de la chlorophylle**

## **Résumé**

Le présent travail se consacre à l'étude de l'impact d'une pollution potentielle induite par des effluents gazeux visibles, dans la localité d'Ain Mimoun dans la Wilaya de Khenchela ; où la forêt est soumise à des contraintes de rejets de particules industriels de l'usine d'exploitation de la baryte et de la poussière. L'espèce préconisée dans cette étude est le chêne vert (*Quercus ilex* L) qui est une essence utilisée pour sa propriété d'indicateur de la présence d'éléments polluants dans l'écosphère par sa tolérance apparente. Nous avons réalisé des prélèvements d'échantillons sur les feuilles de chêne vert de trois stations, pour prélever et analyser les teneurs en chlorophylles et de mesuré la quantité des dépôts de poussières sur la surface foliaire de l'espèce, au laboratoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Des fluctuations des teneurs en chlorophylles entre les stations de prélèvement proches et lointaines de l'usine ont été trouvées. Les résultats ont révélé des concentrations faibles en chlorophylles dans les stations considérées les plus soumises à la pollution. Ces teneurs diffèrent d'une station à une autre. Elles sont élevées au niveau des stations S1, S2 et faibles dans les stations S3. La pollution atmosphérique visible dans la région d'étude est alarmante et les conséquences peuvent être un stress abiotique chez le chêne vert pouvant aboutir à un dépérissement.

**Mots clés :** *Quercus ilex* L., Chlorophylles, Baryte, Pollution, Ain Mimoun à Khenchela

# **Evaluation of the quantities of solid aerosols on the leaf system of the holm oak and relation to the degradation of chlorophyll**

## **Abstract**

This work is devoted to the study of the impact of a potential pollution induced by visible gaseous effluents, in the locality of Ain Mimoun in the Wilaya of Khenchela; where the forest is subject to the constraints of industrial particle releases from the barite and dust mining plant. The species recommended in this study is the holm oak (*Quercus ilex* L) which is a species used for its property of indicating the presence of polluting elements in the ecosphere by its apparent tolerance. We took samples from the leaves of holm oak from three stations, to collect and analyze the chlorophyll contents and to measure the amount of dust deposits on the leaf surface of the species, in the laboratory of the Faculty of Sciences of Nature and Life. Fluctuations in chlorophyll levels between sampling stations near and far from the plant were found. The results revealed low concentrations of chlorophylls in the stations considered to be the most subject to pollution. These levels differ from station to station. They are high at stations S1, S2 and low at stations S3. The air pollution visible in the study area is alarming and the consequences can be abiotic stress in holm oaks that can lead to dieback

**Key words:** *Quercus ilex* L., Chlorophylls, Baryte, Pollution, Ain Mimoun in Khenchela.

## تقييم كميات الغبار الجوي الصلب المتوضع على نظام أوراق البلوط وعلاقتها بتدهور الكلوروفيل

### الملخص

هذا العمل مخصص لدراسة تأثير التلوث المحتمل الناجم عن المخلفات الغازية المرئية في منطقة عين ميمون بولاية خنشلة. حيث تخضع الغابة لقيود إطلاق الجسيمات الصناعية من مصنع تعدين البارييت والغبار. النوع الموصى به في هذه الدراسة هو البلوط (*Quercus ilex L*) وهو نوع يستخدم لخصائصه المتمثلة في الإشارة إلى وجود عناصر ملوثة في المحيط البيئي من خلال تحمله الظاهر للتلوث. أخذنا عينات من أوراق البلوط من ثلاث محطات، لجمع وتحليل محتويات الكلوروفيل وقياس كمية رواسب الغبار على سطح أوراق هذا النوع، في مختبر كلية علوم الطبيعة والحياة. تم العثور على تقلبات في مستويات الكلوروفيل بين محطات أخذ العينات بالقرب من المصنع وبعيدا عنه. كشفت النتائج عن انخفاض تركيزات الكلوروفيل في المحطات الأكثر عرضة للتلوث. تختلف هذه المستويات من محطة إلى أخرى. تكون عالية في المحطات S1 و S2 ومنخفضة في المحطات S3. يعد تلوث الهواء المرئي في منطقة الدراسة مقلقا ويمكن أن تكون العواقب إجهادا غير حيوي في خشب البلوط مما قد يؤدي إلى الوفاة.

**الكلمات المفتاحية:** البلوط، اليخضور، البارييت، التلوث، عين ميمون ولاية خنشلة.

## Liste des Abréviations

<b>An</b>	Ans, année
<b>ATP</b>	Adénosine Triphosphate
<b>BNEF</b>	Bureau Nationale d'Etudes Forestières
<b>°C</b>	Dégré Celsius
<b>Cm</b>	Centimètre
<b>Chl</b>	Chlorophylle
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de Carbone
<b>COV</b>	Composé Organique Volatile
<b>CP</b>	Coefficient Pluviométrique
<b>CF</b>	Conservation des Forets
<b>CH<sub>3</sub></b>	Méthyle
<b>DE</b>	Direction de l'environnement
<b>D.P.A.T</b>	direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
<b>DO</b>	Densité optique
<b>DGF</b>	Direction Générale des Forets
<b>DSA</b>	Direction des services agricoles
<b>E</b>	Echantillon
<b>e<sup>-</sup></b>	Electron
<b>EIE</b>	Etude de l'Impact sur l'Environnement
<b>ETP</b>	Evapotranspiration potentielle.
<b>ETR</b>	Evapotranspiration réelle
<b>EDTA</b>	Éthylène diamine tétra acétique
<b>H%</b>	Humidité
<b>H<sup>+</sup></b>	Ions
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Acide sulfurique
<b>Ha</b>	hectare
<b>HAP</b>	Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
<b>I</b>	Indice thermique mensuel
<b>INRA</b>	Institut National de la recherche agronomique
<b>IR</b>	Infra Rouge
<b>IRD</b>	Institue Régionale de Développement
<b>Ia</b>	indice d'aridité
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>K</b>	Facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température
<b>Kg</b>	Kilogramme
<b>kJ·mol</b>	Kilojoule par Mole
<b>m<sub>min</sub></b>	moyenne des minima du mois le plus froid (°C)
<b>m</b>	Mètre
<b>M<sub>max</sub></b>	moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C)
<b>mm</b>	Millimètre.
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	Magnésium (Ion)
<b>mg</b>	Milligramme
<b>MF</b>	Matière Fraiche
<b>MATET</b>	Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme

<b>µm</b>	Micromètre
<b>N</b>	Nombre de jours dans le mois considéré
<b>N°</b>	Numéro
<b>NADP<sup>+</sup></b>	Nicotinamide Adénine Di nucléotide Phosphate
<b>NADPH</b>	Nicotinamide Adénine Di nucléotide Phosphate (Réduit).
<b>nm</b>	Nanomètre
<b>OMM</b>	Organisation Météorologique Mondiale
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>pH</b>	Potentiel hydrogène
<b>P</b>	Précipitations mensuelles
<b>PM</b>	(PM pour Particulate Matter) ; matière particulaire
<b>P<sub>moy</sub></b>	Précipitations moyennes annuelles (mm)
<b>ppm</b>	Partie par million
<b>S</b>	Station
<b>SP</b>	espèce
<b>SOMIBAR</b>	Société des Mines de Baryte d'Algérie
<b>t</b>	Température moyenne mensuelle en (°C)
<b>T</b>	Températures moyennes annuelles (°C)
<b>TSP</b>	Total Suspended Particles
<b>UV</b>	Ultrat Violet

## Liste des figures

N° figure	Titre	N° page
<b>Figure 1</b>	Aspect d'un arbre de chêne vert dans la région d'Ain Mimoune	6
<b>Figure 2a</b>	Feuilles de <i>Quercus</i> sp (Lieutaghi, 2004)	7
<b>Figure 2b</b>	Feuillage d'un spécimen chêne vert utilisé dans le travail	7
<b>Figure 3</b>	Inflorescences du chêne vert	8
<b>Figure 4</b>	Fruits du chêne vert (Rabaa, 2008). a) Glands du chêne pédonculé b) glands du chêne vert	8
<b>Figure 5</b>	Fruits du chêne vert (Boudy, 1952)	9
<b>Figure 6</b>	Distribution du <i>Quercus rotundifolia</i> et du <i>Quercus ilex</i> dans son aire géographique méditerranéenne (Michaud et al., 1995)	10
<b>Figure 7</b>	Répartition du chêne vert en Algérie (DGF, 2007)	11
<b>Figure 8</b>	Un jeune chloroplaste (Bowes et Mauseth, 2012)	19
<b>Figure 9</b>	Structure des molécules de chlorophylles a et b (Farineau et Morot-Gaudry, 2006)	20
<b>Figure 10</b>	Terminologie de classification des particules atmosphériques en fonction de leur taille (Schneiderand V, 2011)	29
<b>Figure 11</b>	Structure probable de l'aérosol (Masclat, 2005)	30
<b>Figure 12</b>	Evolution d'un aérosol atmosphérique (www.dwd.de))	31
<b>Figure 13</b>	Position de la wilaya de Khenchela dans les hauts plateaux algériens	35
<b>Figure 14</b>	Zones naturelles de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012)	36
<b>Figure 15</b>	Localisation de la wilaya de Khenchela dans le nord de l'Algérie (DSA, 2011)	36
<b>Figure 16</b>	Carte des reliefs de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012)	38
<b>Figure 17</b>	Carte des pentes de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012)	39
<b>Figure 18</b>	Carte pédologique de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012)	40
<b>Figure 19</b>	Diagramme de température de la période 2011-2020 dans la wilaya de Khenchela (Station Météorologique d'El Hamma, 2021)	46
<b>Figure 20</b>	Le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série de (Juillet 2011 à Juin 2021) à la station d'El-Hamma	47
<b>Figure 21</b>	Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2011-2021)	47
<b>Figure 22</b>	Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période 2011-2021	50

<b>Figure 23</b>	Graphes des moyennes des vitesses maximales instantanées des vents de la période janvier à avril 2021 (km/h) (station météorologique d'El Hamma)	50
<b>Figure 24</b>	Diagramme ombrothermique de Gaussen de la zone d'étude (2011-2021).	52
<b>Figure 25</b>	Climagramme d'Emberger de la zone d'étude	53
<b>Figure 26</b>	GPS de téléphone	56
<b>Figure 27</b>	Localisation des stations de prélèvements dans la zone d'étude	57
<b>Figure 28</b>	Aspect d'un arbre utilisé dans le prélèvement des échantillons de <i>Quercus ilex</i> L. Station S1. au cours d'une sortie sur terrain	59
<b>Figure 29</b>	Aspect d'un arbre utilisé dans le prélèvement des échantillons de <i>Quercus ilex</i> L. Station S2, au cours d'une sortie sur terrain	60
<b>Figure 30</b>	Aspect d'un arbre utilisé dans le prélèvement des échantillons de <i>Quercus ilex</i> L. Station S3 (E1 E2). au cours d'une sortie sur terrain	60
<b>Figure 31</b>	Mode opératoire et dosage des chlorophylles.	62
<b>Figure 32</b>	La balance de précision utilisée au laboratoire	62
<b>Figure 33</b>	Spectrophotomètre UV/visible (SP-UV 2005) utilisé	63
<b>Figure 34</b>	Spectre d'absorption de la chlorophylle a	64
<b>Figure 35</b>	Spectre d'absorption de la chlorophylle b	65
<b>Figure 36</b>	Ethylène diamine tétra acétique à 5g/l	66
<b>Figure 37</b>	l'agitateur magnétique utilisé dans la manipulation	67
<b>Figure 38</b>	Filtres Millipore (45µm)	68
<b>Figure 39</b>	La rampe de filtration utilisée (sartorius)	68
<b>Figure 40</b>	Dépôts de poussières blanches sur les feuilles de <i>Quercus ilex</i> L	70
<b>Figure 41</b>	Aspects de chlorose observés sur les feuilles de <i>Quercus ilex</i> L	71
<b>Figure 42</b>	Teneurs en chlorophylles des échantillons de chêne vert	72
<b>Figure 43</b>	Diagramme de résultats de lavage des feuilles	76
<b>Figure 44</b>	Filtre millipore empoussiéré de S2 E1	77
<b>Figure 45</b>	Filtre millipore empoussiéré de S1 E2	77
<b>Figure 46</b>	Filtre millipore empoussiéré de S3 E1	77

## Liste des tableaux

<b>N° tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau 1	Les principaux polluants de l'air en relation avec les aérosols (Raven, 2009)	25
Tableau 2	Concentrations des aérosols (Boucher, 2012)	29
Tableau 3	Occupation du sol dans le massif des Ouled Yagoub (B.N.E.F, 2004)	41
Tableau 4	Les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma 2017	45
Tableau 5	Coordonnées géographiques de la station S1	57
Tableau 6	Coordonnées géographiques de la station S2	58
Tableau 7	Coordonnées géographiques de la station 3 E1	58
Tableau 8	Coordonnées géographiques de la station 3 E2	59

## Table des matières

Remerciements		
Résumé		
Abstract		
الملخص		
Liste des abréviations		
Liste des figures		
Liste des tableaux		
Introduction		1
<b>Chapitre I</b>	<b>Monographie du Genre <i>Quercus</i></b>	<b>5</b>
I.1.	Répartition géographique	5
I.2.	Famille botanique du Genre <i>Quercus</i>	5
I.3.	Caractères du genre <i>Quercus</i>	5
I.3.1.	Description	6
I.3.1.1.	Le feuillage	6
I.3.1.2.	Les chatons des fleurs	7
I.3.1.3.	Les fruits	8
I.3.1.4.	Le pollen	9
I.4.	Présentation du chêne vert	9
I.4.1.	Répartition géographique	9
I.4.1.1.	Répartition et distribution écologique du chêne vert	9
a).	Dans le monde	9
b).	En Algérie	10
I.5.	Caractéristiques écologiques du chêne vert	11
I.6.	Taxonomie du chêne vert	11
I.7.	Caractères climatiques	11
I.8.	Caractères édaphiques du chêne vert	12
I.9.	Exigences climatiques	12
I.9.1.	La lumière	12
I.9.2.	La Température	12
I.9.3.	L'eau	12
I.9.4.	Le Sol	12
I.10.	La Situation altitudinale	12
I.11.	Les étages de végétation	13
I.12.	Caractères botaniques du chêne vert	13
I.12.1.	Dans les taillis	13
I.13.	Régénération du chêne	13
I.13.1	Semis	14
I.13.2	Rejets et drageons	14
I.14.	Intérêt de l'espèce	14
I.15.	Contraintes de croissance	15
I.15.1.	Contraintes anthropiques	15
I.15.1.1.	Les Incendies	15

I.15.1.2.	Défrichement et pastoralisme	15
I.15.2.	Contraintes biotiques	15
I.15.2.1.	Les Insectes	15
I.15.2.2.	Les Champignons	16
I.15.2.3.	Les Cuscutes	16

**Chapitre II** **Etude de la chlorophylle** **18**

II.1.	Historique de la découverte la chlorophylle	18
II.2.	Les plastes	18
II.2.1.	Les proplastes	18
II.2.2.	Structure des chloroplastes	18
II.3.	Les pigments chlorophylliens	20
II.3.1.	Définition de la chlorophylle	20
a.	Structure des chlorophylles a et b	20
b.	structure des chlorophylles a et b	21
II.4.	Chlorophylles et stress environnemental	21
II.5.	La chlorophylle et la pollution de l'air	21
II.6.	L'effet de la pollution atmosphérique sur la photosynthèse	22

**Chapitre III** **La pollution atmosphérique par les aérosols et relation avec la** **24**  
**végétation**

	Introduction	24
III.1.	La pollution Atmosphérique	24
III.1.1.	Les polluants Atmosphérique	24
III.1.1.1.	Les principaux polluants de l'air en relation avec les aérosols	24
III.1.1.2.	Effet de la pollution atmosphérique sur l'environnement	25
a.	Altérations des écosystèmes	25
b.	Effets sur les écosystèmes forestiers	25
III.2.	Pollution par les aérosols	26
III.2.1.	Définition des aérosols	26
III.2.2.	Classification des aérosols	27
III.2.2.1.	Classification selon sa distribution en taille (selon le diamètre)	27
III.2.2.2.	Classification selon la taille	27
a)	Les grosses particules sédimentaires	27
b)	Les particules semi-finies	27
c)	Les particules insédimentables	28
d)	Les brouillards	28
III.2.2.3.	Classification selon l'origine	28
III.2.3.	Dimensionnement des aérosols	29
III.2.3.1.	Concentrations des aérosols	29
III.2.3.2.	Structure probable de l'aérosol	30
III.2.4.	Mode de formation des particules	30



V.3.2.4	Evapotranspiration	48
a.	Evapotranspiration potentielle (ETP)	48
b.	Evapotranspiration réelle (ETR)	49
V.3.2.5.	L'humidité	49
V.3.2.6.	Le vent	50
V.3.3.	Les indices climatiques	50
V.3.3.1.	Indice d'aridité de De MARTONNE	51
V.3.3.2.	Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS	51
V.3.3.3.	Quotient et climagramme pluviométrique d'Emberger	52
<b>Chapitre VI</b>	<b>Matériels et méthodes</b>	<b>55</b>
VI.1.	La justification de choix de site	55
VI.1.1.	Matériels utilisés dans le choix des sites de prélèvements	55
VI.1.1.1.	Le GPS	55
VI.1.1.2.	Les applications du GPS	56
a.	GPS essentiels	56
VI.2.	Situation géographique des stations de prélèvements	56
VI.2.1.	Station 1	57
VI.2.2.	Station 2	58
VI.2.3.	Station 3 E1	58
VI.2.4.	Station 3 E2	59
VI.3.	Mode d'échantillonnage	59
VI.3.1.	Paramètres mesurés	61
VI.3.1.1.	Dosage de la chlorophylle	61
VI.3.1.2.	Le principe de la méthode de Witham et al., 1970	61
A.	La balance	62
B.	Spectrophotométrie "domaine UV/visible"	63
B.1.	Définition	63
B.2.	Principe de la Spectrophotométrie UV/visible	63
B.3.	Applications de la spectroscopie UV-Visible	63
a.	Analyse qualitative	63
b.	Analyse quantitative	63
c.	Autres applications	64
VI.3.1.3.	Analyse statistique	65
VI.3.2.	Technique de lavage des Feuilles	66
VI.3.2.1.	Mode d'échantillonnage	66
VI.3.2.2.	Lavage des feuilles en vue d'estimer les dépôts de particules	66
VI.3.2.3.	Choix des solutions de lavage	66
VI.3.2.4.	Description des essais	67
VI.3.2.5.	Méthode expérimentale	67
A.	L'agitateur	67
B.	Le filtre Millipore (45 µm)	68

C.	La rampe de filtration (Sartorius)	69
----	------------------------------------	----

	<b>Résultats et discussions</b>	
<b>Chapitre VII</b>	<b>Evaluation des teneurs en chlorophylle</b>	
	<b>Estimation des quantités de poussières</b>	
VII.1.	Evaluation des teneurs en chlorophylle	70
VII.2.	Résultats de l'évaluation des teneurs en chlorophylles	72
VII.2.1.	Teneur en chlorophylles (Chl)	72
VII.2.2.	Teneurs en chlorophylle totale	73
VII.3.	Interprétation des résultats de lavage des feuilles	75
VII.3.1.	Interprétation des résultats	76
	<b>Conclusion générale</b>	79
	<b>Références bibliographiques</b>	82

## Introduction

En 1980, Dajoz définit la forêt comme étant un écosystème dans lequel les arbres prédominent au point de modifier les conditions écologiques qui règnent dans le sol et en créant un microclimat spécial.

La forêt algérienne apparaît comme une formation végétale dont les arbres sont en état de lutte continuelle contre les facteurs de dégradation. Compte tenu de tous les éléments climatiques particulièrement thermiques qui constituent des facteurs déterminants dans le fonctionnement des écosystèmes méditerranéens et des pressions anthropiques exercées sans cesse sur elle, la forêt semble glisser rapidement sur la voie d'une dégradation progressive des essences principales et son remplacement par les maquis et les broussailles. C'est pourquoi, la forêt est clairsemée en formation ouverte, entrecoupée par de nombreux vides et les forêts méritant leur appellation sont plutôt rares (Fosa, 2000).

Les activités de l'industrialisation sont synonymes de progrès, de modernité et d'enrichissement. Et de grandes quantités de substances chimiques sont relâchées dans l'environnement, la plupart sont considérées comme dangereuses. L'introduction de ces composés implique de sérieux risques aussi bien pour l'environnement et les organismes vivants, que pour la santé humaine (Amri, 2007).

Le développement des infrastructures en Algérie et plus précisément les industries, peut augmenter le taux de polluants dans l'air et peut affecter les êtres vivants, la végétation étant la première cible. Donc la quantification de cette pollution est possible par des espèces végétales qui peuvent être soit de strate arborescente ou arbustive. Ces espèces végétales représentent une ressource vitale pour notre vie, jouant un rôle écologique en purifiant l'air, protégeant le sol contre l'érosion et améliorant la qualité de l'eau ; et un rôle socio-économique important (Tewari et al., 2008).

Depuis les années soixante-dix, de nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des végétaux comme bio-indicateurs et bio-accumulateurs de la pollution atmosphérique (Maizi et al., 2010), ces végétaux ont la propriété, soit de réagir très rapidement et d'une façon très visible aux polluants, soit d'accumuler très fortement les polluants présents (Garrec, 2007).

Les chênes constituent à eux seuls, divers types de paysages hautement caractéristiques du monde méditerranéen. Il s'agit essentiellement de la forêt sempervirente méditerranéenne qui représente, lorsqu'elle n'a pas été détruite, l'unité physiologique la plus généralement assimilée au climat et à la végétation méditerranéenne. Parmi ces chênes, le chêne vert ou chêne d'yeuse qui représente l'essence forestière représentative de la forêt méditerranéenne occupant actuellement entre 354 000 ha et 433 000 ha dont une partie est sous forme de taillis. Il est normalement adapté aux conditions continentales et altitudinales entre le semi-aride et le subhumide, et peut monter en altitude jusqu'à la limite de 1600 m en concurrence directe avec le cèdre (Barbero et al., 1992).

Ce travail consiste à utiliser une espèce végétale pérenne bio-indicatrice, ligneuse, pour évaluer l'impact de la pollution atmosphérique causée par les aérosols sur le chêne vert.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est de contribuer à une meilleure connaissance par estimation de la teneur en chlorophylles comme paramètre biochimique d'une espèce choisie (*Quercus ilex*. L) pour l'entreprendre comme indicateur de la pollution atmosphérique par la quantification de la masse des poussières déposées sur le système foliaire de cette espèce.

Cet objectif est développé dans ce mémoire qui s'articule en trois parties :

► La première partie repose sur une "**synthèse bibliographique**" qui vise à définir et caractériser la pollution de l'air d'une façon générale, suivie d'un aperçu sur le baryum et ses impacts sur l'environnement, le concept de bio-indication, la monographie de l'espèce, ainsi qu'un paramètre biochimique à savoir, la chlorophylle.

► La deuxième partie, "**Matériel et Méthodes**", décrit la zone d'étude située dans la région de Khenchela en donnant un aperçu sur la situation géographique, la faune et la flore ainsi que la climatologie. Cette description de la zone d'étude permet de justifier le plan d'échantillonnage, notamment la localisation des stations de prélèvements. Il expose ensuite l'intégralité des méthodes et techniques utilisées au cours de ce travail, de l'échantillonnage à l'analyse pour atteindre les objectifs visés : préparation du matériel d'échantillonnage (GPS), mode de prélèvement, mesures au laboratoire par spectrophotométrie UV. Et, lavage des feuilles par un acide fort et filtration sur une rampe de filtration.

► La troisième partie, "**Résultats et discussion**" s'attache aux résultats obtenus et leur traitement statistique tout en comparant avec les résultats obtenus soit sur le niveau national ou international.

Enfin, une **conclusion** qui résume toutes les parties traitées et synthétisées, concernant l'importance des ligneux pour la détection de la pollution atmosphérique.

## Chapitre I



## Monographie du Genre *Quercus*

## Chapitre I

### Monographie du Genre *Quercus*

Le Chêne vert (*Quercus ilex* L.), est une espèce sempervirente de la famille des Fagacées. Il est considéré comme l'une des espèces les plus caractéristiques de la région méditerranéenne (Quezel, 1976). C'est une essence forestière qui possède ses caractéristiques morphologiques propres et ne peut être confondue avec les autres chênes.

#### I.1. Répartition géographique

Les Chênes appartiennent à un genre fort ancien dont l'origine est presque contemporaine de celle des Dicotylédones, dérivent, comme les Châtaigniers des *Dryophyllum* apparus au Crétacé moyen et très répandus au Crétacé supérieur. Dans les gisements sénoniens de Patoot, au Groenland, où régnait un climat chaud à la fin de l'ère secondaire, on observe de vrais *Quercus* tout à fait analogues à ceux du Paléocène de Gelinden. Aujourd'hui, les Chênes forment un vaste groupe de près de 500 espèces dont la plupart croissent dans l'hémisphère nord tempéré, subtropical et tropical principalement en montagnes, s'étendant au sud en Asie orientale et dans les Andes de la Colombie. La flore d'Europe en compte 25 espèces auxquelles se joignent quelques arbres introduits d'Amérique du Nord (Lieutaghi, 2004).

#### I.2. Famille botanique du Genre *Quercus*

Le chêne, ou *Quercus*, appartient à la famille des Fagacées ou Cupulifères qui regroupent trois genres principaux : *Quercus* (les chênes), *Fagus* (les hêtres) et *Castanea* (les châtaigniers). Cette famille d'arbres à chatons (épi dont l'axe est flexible et groupe de fleurs unisexuées), comme les Bétulacées, appartient au groupe des Amentifères (Lieutaghi, 2004).

#### I.3. Caractères du genre *Quercus*

On rencontre le chêne comme arbre ou arbrisseau (Figure 1), à feuilles alternes, dentées, sinuées ou lobées, rarement entières, caduques ou persistantes desséchées, semi-persistantes ou persistantes pendant plus d'une année (Lieutaghi, 2004).



**Figure 1 :** Aspect d'un arbre de chêne vert dans la région de Ain Mimoune

### **I.3.1. Description**

Le chêne peut atteindre une hauteur de 15 m, tel que le chêne pédonculé ou être rabougris comme le chêne vert, le chêne kermès. Les fleurs males sont nombreuses et réunies en chatons grêles, pendant, naissant en faisceaux au sommet des pousses de l'année précédente ou solitaires à la base des pousses de l'année. Chaque fleur, minuscule, possède périgone ordinairement divisée en 4 à 7 lobes, et 4 à 12 étamines. Les fleurs femelles, sont très petites, solitaires ou en épi dans un involucre formé de nombreuses petites écailles imbriquées. Les glands sont enveloppés à la base par l'involucre fructifère en forme de coupe, la cupule est recouverte à l'extérieur. Le vent se charge de la pollinisation des fleurs qui apparaissent en avril-mai ; les fruits sont murs à l'automne de la même année ou de la seconde année (Lieutaghi, 2004).

#### **I.3.1.1. Le feuillage**

Il est caduc, sauf chez quelques espèces comme le chêne vert et le chêne liège. Les feuilles sont alternes, lobées ou profondément dentées. En général la plus grande largeur du limbe se situe vers le tiers supérieur (Figure 2a) (Lieutaghi, 2004).

Elles restent sur l'arbre pendant plus d'une année, parfois jusqu'à la troisième et la quatrième année. Elles sont coriaces, concaves, ne se plient pas selon la nervure centrale. Leurs forme et taille sont variables : elliptiques, lancéolées, arrondies, longues de 2 à 9 cm, large de 1 à 4 cm ou plus (Figure 2b). Sur le même sujet, parfois sur la même branche, on peut trouver des feuilles, de forme et de dimension très différentes, selon qu'elles ont poussé à la base ou à l'extrémité du rameau (Achhal, 1979).



**Figure 2b** : Feuillage d'un spécimen chêne vert utilisé dans le travail

Elles sont à la face supérieure glabre et d'un vert foncé, grise et pubescentes à la face inférieure. Leur bord peut être uni ou finement denté et ondulé ; portant de sept à douze paires de nervures. Le pétiole a environ 0,5 à 2 mm de longueur. Depuis longtemps on distingue les chênes verts à feuilles oblongues et les chênes verts à feuilles arrondies (Achhal, 1979).



**Figure 2a** : Feuilles de *Quercus* sp (Lieutaghi, 2004)

### I.3.1.2. Les chatons des fleurs

Les fleurs mâles ou chatons, sont regroupées en petits chapelets pendants et discrets, elles apparaissent en avril en même temps que les feuilles et portent 6 à 8 étamines. Les fleurs femelles sont isolées ou réunies en petits épis dressés (Figure 3) (Lieutaghi, 2004). Mâles sont allongés et pubescents, très abondants et parfois recouvrent entièrement l'arbre d'une couleur jaune à reflets roux (Figure 3).



**Figure 3** : Inflorescences du chêne vert

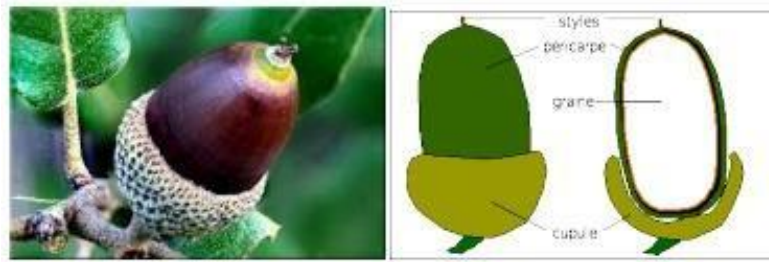
### **I.3.1.3. Les fruits**

Le gland est un akène plus ou moins profondément inséré dans une cupule garnie d'écailles parfois épineuses. Il tombe de lui-même et quitte sa cupule quand il est mûr, au mois de septembre (Figure 4) (Lieutaghi, 2004).



**Figure 4** : Fruits du chêne vert (Rabaa, 2008). a) Glands du chêne pédonculé  
b) glands du chêne vert

Sont subsessiles sur les ramuscules de l'année, la fructification annuelle a lieu entre novembre et décembre, et ne commence que lorsque l'individu atteint douze ans environ, devient appréciable vers vingt-cinq à trente ans et abondante entre cinquante et cent ans (Boudy, 1952). Les glands sont de forme très variable et peuvent être ovoïdes, subcylindriques, globuleux ; leurs longueur varie de 1,5 à 3 cm et leur diamètre de 1 à 1,5 cm (Figure 5). La plupart des glands sont amers en Europe et ne sont pas comestibles pour l'homme, mais ils sont tous très appréciés des animaux. Contrairement à ceux qui poussent dans le Maghreb, où il est très apprécié.



**Figure 5 :** Fruits du chêne vert (Boudy, 1952)

#### **I.3.1.4. Le pollen**

La taille du pollen est comprise entre 20 et 40  $\mu\text{m}$ . Les grains sont tricolpés subtriangulaires, exine ornementés de verrues de taille irrégulière. La Pollinisation a lieu au cours des mois d'avril et mai et est anémophile (Lieutaghi, 2004).

### **I.4. Présentation du chêne vert**

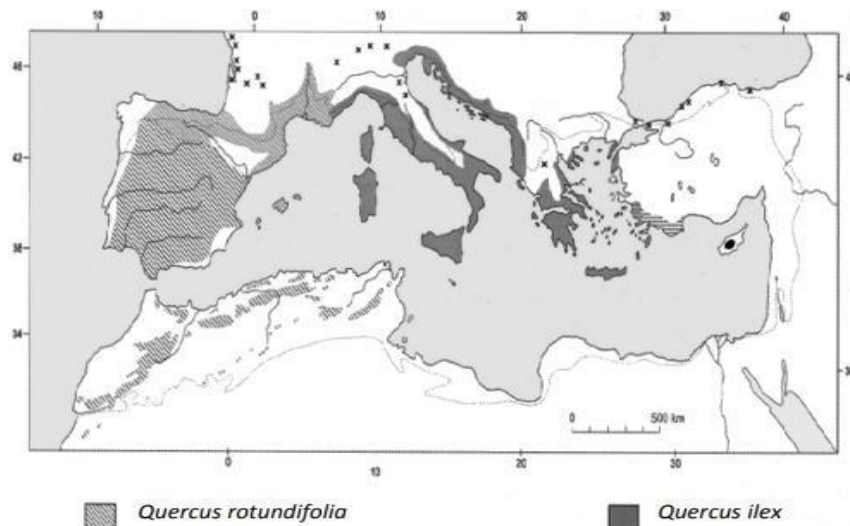
Le chêne vert est une essence méditerranéenne, connue pour sa rusticité et sa remarquable capacité d'adaptation, propriété qu'il doit à sa grande diversité génétique acquise au cours de son histoire (Michaud et al., 1995) ; la mise en place du chêne vert en région méditerranéenne humide et sub-humide, remonterait à 6000 ans avant notre ère, et aurait été favorisée par l'activité humaine au dépens des chênaies caducifoliées (Pons et Vernet, 1971 ; Pons et Quezel, 1985). Sa présence est indiquée dans les diagrammes polliniques, bien qu'en petite quantité, depuis la tardiglaciaire (13000 -11000 AJC.) et il semble qu'en régions arides le chêne vert ait joué un rôle important, antérieure à toute action humaine (Benabdellah, 2007).

#### **I.4.1. Répartition géographique**

##### **I.4.1.1. Répartition et distribution écologique du chêne vert**

###### **a). Dans le monde**

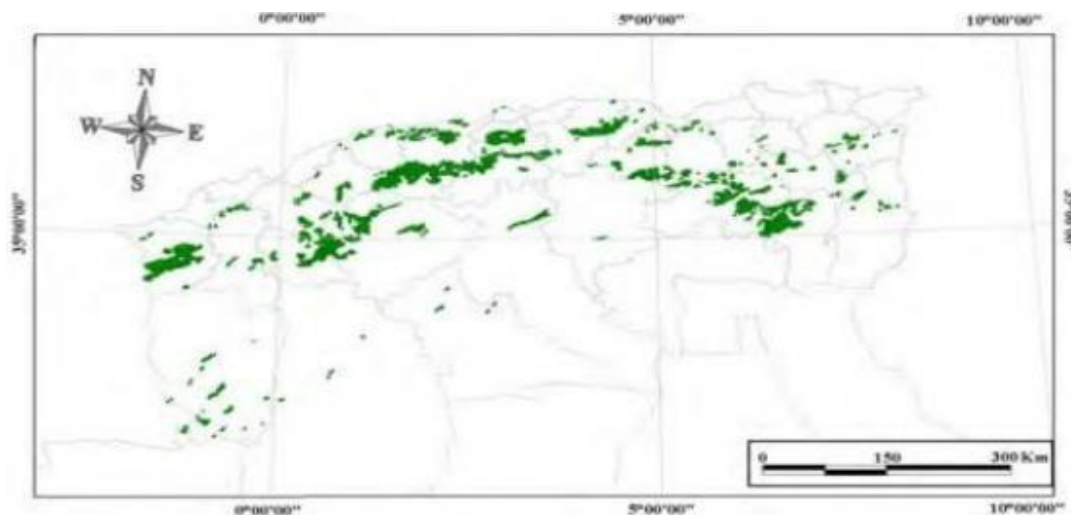
Le chêne vert est une espèce à large aire de répartition, depuis la Chine à l'Himalaya jusqu'à la Grande Bretagne, du Midi de la France, au désert Libyque (Boudy, 1950). L'aire du chêne vert s'élargit sur l'ensemble du bassin méditerranéen, on le trouve du Portugal à la mer Noire, ainsi qu'en Afrique du Nord ; c'est ce que qualifie l'espèce de circumméditerranéenne, car elle est spontanée et très commune dans le bassin méditerranéen (Barbero et Loisel, 1980) (Figure 6). En termes d'occupation du tapis végétal, le chêne vert joue un rôle indiscutablement plus important dans la partie occidentale du bassin méditerranéen que dans sa partie orientale.



**Figure 6 :** Distribution du *Quercus rotundifolia* et du *Quercus ilex* dans son aire géographique méditerranéenne (Michaud et al., 1995)

#### b). En Algérie

Boudy (1950), Repris par les différents travaux relatifs à la répartition du chêne vert en Algérie, estime que le chêne vert emploie 680000 ha, répartis depuis la frontière marocaine à celle tunisienne. Selon Popov (1980), la surface occupée par le chêne vert est de 354000 hectares soit 15,9 % de la superficie totale forestière du pays.



**Figure 7 :** Répartition du chêne vert en Algérie (DGF, 2007).

A l'Est, on l'aperçoit dans les Aurès, où il est en mélange avec le pin d'Alep, tel est le cas de la forêt de Belezma, de Bou-Arif de Sgaz et de l'Oued Fedala. Alors qu'au centre du pays, il est en concurrence avec le pin d'Alep ; il recouvre les versants de l'Atlas méridien, en taillis

dégradés. Il forme des taillis médiocres dans les régions de Tablat, et Sour-El Ghozlane, par contre à Ténès, il est possible de remarquer de belles futaies qu'il faut bien traiter à fin de les conserver (Figure 7).

C'est en Oranie que les plus importantes formations de chêne vert sont localisées, dans les régions de Tiaret, Frenda et Saida en forêt de Sdamas et de Hassasna en taillis dégradés, et vieilles futaies dans la régions de Tlemcen avec les forêts de Khemis, Ouled-Nehar, Beni Boussaid et Ras-Asfour (Boudy, 1950).

### **I.5. Caractéristiques écologiques du chêne vert**

L'une des principales raisons du succès du chêne vert en zone méditerranéenne, réside dans sa remarquable résistance aux contraintes écologiques et hydriques. Il présente un certain nombre de traits biologiques lui permettant de subsister et de continuer à fonctionner pendant les durées de sécheresse. En plus d'un enracinement profond, le chêne vert peut répondre à une forte sécheresse par le développement d'une surface évapotranspirante limitée qui est en relation avec la faible réserve hydrique du sol sur lequel il pousse (Barbero et al, 1992).

Au cours d'événements climatiques fortement défavorables, le chêne vert maintient l'ouverture des stomates à des potentiels hydriques très négatifs (Acherar et al., 1991). L'ensemble de ces réponses à la sécheresse permet au chêne vert de maintenir une certaine croissance malgré la diminution de l'activité physiologique (Delillis et Fontanella, 1992).

### **I.6. Taxonomie du chêne vert**

Le chêne vert appartient à l'Embranchement des Spermaphytes, au Sous-embranchement des Angiospermes, à la Classe des Dicotylédones, à l'Ordre des Fagales ou Apétales, à la Famille des Fagacées ou cupulifères, au Genre *Quercus* et à l'Espèce : *Quercus ilex* (Boudy, 1952).

### **I.7. Caractères climatiques**

Le Chêne vert occupe les étages bioclimatiques semi-aride et subhumide, humide et hyper humide. Cependant, il se développe mieux en climat subhumide (Barbero et al., 1992). Il préfère les zones ensoleillées et tolère les températures chaudes atteignant 42 °C mais supporte aussi le froid jusqu'à -15°C. Il est habitué à des endroits venteux et enclins aux embruns comme les bords de mer. Il supporte des précipitations de 384 mm à 1462 mm (Sauvage, 1961).

## **I.8. Caractères édaphiques du chêne vert**

Le Chêne vert n'est pas exigeant, il s'accommode à divers substrats (Maire, 1926) siliceux ou calcaires et des sols superficiels ou profonds. Il se rencontre sur grès, calcaires, marno-calcaires, dolomies et schistes. Mais cet arbre fuit les substrats mobiles et les sols hydromorphes (Achhal, 1979). Il se rencontre entre 0 et 2000 m d'altitude bien que la majorité des forêts de *Quercus ilex* se trouvent à 400 et 1200 m (Paton et al., 2009).

## **I.9. Exigences climatiques**

**I.9.1. La lumière :** Le chêne vert aime les endroits ensoleillés mais s'accommode d'un certain couvert en présence de pins (Sauvage, 1961).

**I.9.2. La Température :** Il résiste au froid, pouvant atteindre  $-15^{\circ}\text{C}$  mais vie très bien sous un climat doux, avec des hivers tièdes et des étés chauds.

**I.9.3. l'eau:** IL s'accommode à un été sec et chaud ou assez pluvieux et frais. Braun-Blanquet a constaté que sa transpiration l'été est réduite mais importante pendant l'hiver, même à des températures proches de zéro, ce qui constitue un danger pour les jeunes pousses et plants.

**I.9.4. Le Sol :** Le chêne vert est assez indifférent à l'égard de la composition chimique du sol, pourvu qu'il trouve l'humus et les micro-organismes nécessaires à son développement, il préfère toutefois les terrains perméables aux sols compacts (Sauvage, 1961).

## **I.10. La Situation altitudinale**

En Europe, par exemple, le chêne vert colonise les plaines et les collines, alors qu'en Afrique du Nord, il est considéré comme une essence de montagne. Il n'apparaît pas au-dessous de 400 m d'altitude ou il est éliminé par les essences de plaine de l'association Oléo-lenticetum (Boudy, 1952). En Algérie et plus précisément dans l'Atlas tellien, le chêne vert apparaît à partir de 400 m d'altitude et monte jusqu'à 1700 mètres (Maire, 1926, Quezel, 1976).

Dans les Aurès ses limites altitudinales oscillent entre 1200 et 1900 m et entre 1500 et 2200 m dans l'Atlas saharien (Letreuch, 1995).

### **I.11. Les étages de végétation**

Le chêne vert existe dans l'étage de végétation méso-méditerranéen, mais aussi supra-méditerranéen. Dans ce dernier cas, il occupe les endroits les plus secs tels que les sommets, les versants sud...

### **I.12. Caractères botaniques du chêne vert**

Le chêne vert (*Quercus ilex* Linné) est une espèce sempervirente de la famille des *Fagaceae* ou Cupulifères. Il est considéré comme l'une des espèces les plus caractéristiques de la région méditerranéenne (Barry et al., 1976). L'arbre a un enracinement pivotant, profond, pouvant atteindre 10 m et des racines latérales, traçantes et drageonnantes pouvant dépasser 20 m de profondeur. Le *Quercus ilex* (yeuse) peut atteindre 15 m de hauteur. Le tronc est généralement peu élevé par rapport à la hauteur de l'arbre, 2 à 3 mètres. La cime est d'abord ovoïde puis aplatie. Il reste à l'état d'arbuste dans des conditions de vie difficiles, sols très secs ou en bordure immédiate de la mer.

Les feuilles persistantes, sont de formes très variables suivant les individus. Elles sont grandes, à grosses dents chez ceux poussant à l'ombre, plus coriaces, très blanches en dessous, à bords entiers chez ceux poussant au soleil, enfin très dures et épineuses en situation arides. Elles diffèrent même sur une même plante, selon les rameaux, en fonction des conditions de végétation. L'enracinement pivotant peut atteindre 10 m de profondeur (Barry et al, 1976).

#### **I.12.1. Dans les taillis**

Le chêne vert est précoce et fructifie la quatrième ou la cinquième année. Le gland peut être fertile vers six ou sept ans mais la glandée n'est abondante que vers dix ou quinze ans. C'est une espèce monoïque et vraisemblablement dotée d'un système d'auto-incompatibilité, la pollinisation est anémophile.

### **I.13. Régénération du chêne**

D'après Boudy (1950), la régénération est facile est assurée par semis naturels ou par rejets de souches et drageons.

**I.13.1 Semis :** La fructification est plus abondante dans les futaies claires que dans les futaies denses et les taillis ; il y a des glandées normales tous les 2 ans, mais en montagne, dans de mauvaises conditions écologiques, tous les 3 ou 4 ans seulement.

L'ensemencement naturel joue un rôle très efficace dans la régénération des peuplements de Chêne vert. En outre, le jeune brin de semence se développe très lentement et dans les premières années pousse surtout en profondeur.

**I.13.2 Rejets et drageons:** La forêt de Chêne vert se régénère à peu près exclusivement par rejets de souches ou drageons de racines. Dans le passé, son mode de reconstitution était assuré presque exclusivement par le feu, qui, outre les rejets, provoquait une abondante émission de drageons. On sait que cette faculté de rejeter vigoureusement se maintient chez le Chêne vert jusqu'à un âge avancé, 200 ans en moyenne. Les souches elles-mêmes, ravivées par des recépages fréquents, conservent leur vigueur et leur vitalité jusqu'à des âges très élevés, en donnant naissance à de puissantes cépées. En résumé, on peut considérer que, soit par de rares brins de semence, soit par les rejets et drageons, la régénération des massifs de Chêne vert s'opère très facilement et que leur pérennité est assurée.

#### **I.14. Intérêt de l'espèce**

Le Chêne vert joue un rôle considérable dans l'économie et l'écologie de la région méditerranéenne. Son bois est utilisé pour de multiples usages (Scarascia-Mugnozza et al., 2000) manches, pièces de bois tournées, pavements, menuiserie et parquets, en saboterie, charronnage et traverses de chemin de fer, et dans la construction des bateaux (Mauri et Manzanera, 2005). De plus, c'est un excellent combustible et un très bon charbon. Le tanin provenant de l'écorce du Chêne vert et des galles, est utilisé pour le tannage des peaux.

Les glands restent une nourriture de prédilection du bétail sous forme de glands, ou sous forme de farine (Pardo, 2005). Du côté pharmacologique, l'écorce astringente et tonique est employée contre les diarrhées, angines, affections chroniques de la rate et cirrhose du foie et autrefois comme contrepoison (flèches empoisonnées, morsures de serpent). Les forêts de chênes, jouent un rôle fondamental dans la conservation et la régénération des sols en milieu méditerranéen comme protection contre l'érosion pluviale ou éolienne.

## **I.15. Contraintes de croissance**

### **I.15.1. Contraintes anthropiques**

#### **I.15.1.1. Les Incendies**

D'après Boudy (1950), le Chêne vert est moins sensible à l'action du feu. Dans les futaies, ou le sous-bois, il est peu dense et de faibles dimensions, le feu ne fait, le plus souvent que passer et se contente de flamber les arbres. Dans les jeunes taillis, des cépées très touffues et dont le substratum est souvent recouvert d'un tapis assez épais de feuilles sèches : le feu cause parfois des dommages assez importants. Les souches ne sont pas tuées et donnent de nombreux drageons ultérieurement. En cas de taillis âgés, les dégâts sont peu importants, le feuillage est grillé, certains petits rejets de la souche sont brûlés, mais l'ensemble de la cépée est peu atteint.

#### **I.15.1.2. Défrichage et pastoralisme**

Les territoires de la yeuseraie, étaient souvent soumis à des pratiques culturales ; Le blé semé sur les bonnes terres de bas-fonds, l'avoine et l'orge plantés en complément entre les Chênes verts. Les années de déficit fourrager, les arbres sont émondés et leur feuillage donné aux bêtes. Ces pratiques font par excellence, de la forêt un territoire de parcours animalier. Par ailleurs, Bellon et al., (1996) signalent que la yeuseraie, en offrant entre 150 à 200 unités fourragères par hectares est intégrée facilement, dans le calendrier alimentaire du bétail.

## **I.15.2. Contraintes biotiques**

### **I.15.2.1. Les Insectes**

Le Chêne vert est très sensible à *Lymantria dispar* qui provoque la défoliation des chênes (Boudy, 1950). Il est sensible à un bupreste (*Coroebusbi fasciatus*), dont les galeries creusées dans le bois des charpentières se terminent par une double boucle circulaire : les branches atteintes dépérissent, sèchent sur pied et se brisent sous l'action du vent. En plus, il y a un coléoptère du genre *Balaninus* qui attaque les glands du chêne. La tordeuse verte des chênes, (*Tortrix viridana*) occupe une vaste zone géographique englobant l'Europe, l'Afrique du Nord, la transcaucasie, l'Asie mineure et l'Iran (Razawki, 1966 cité par Saaid, 1993).

Il pullule pendant deux ou trois ans, défeuillant complètement les chênaies et supprimant la glandaie (Torrent, 1955), puis ses populations régressent. Pour son existence en Algérie, la tordeuse verte fût mentionnée pour la première fois en 1991, dans la suberaie jijilienne (Saaid, 1993).

### **I.15.2.2. Les Champignons**

Parmi les champignons dépréciant fortement la croissance du Chêne vert on distingue :

- *Polypores dryadens* : occasionne la pourriture blanche au pied des chênes,
- *Microsphaera quercina* : Oïdium ou blanc des chênes ralentissant la croissance des feuilles et entravant l'élaboration chlorophyllienne.

### **I.15.2.3. Les Cuscutes**

Parmi les végétaux nuisibles au Chêne vert, (Boudy, 1950) cite Cuscute (*Cuscuta monogyna*) qui s'attaque aux jeunes taillis, ces derniers sont tués au bout d'une ou deux années.

## Chapitre II



### Etude de la chlorophylle

## Chapitre II

### Etude de la chlorophylle

#### II.1. Historique de la découverte la chlorophylle

Le nom de chlorophylle a été donné en 1818 par P.J Pelletier et J.B Caventou aux pigments verts des feuilles. Trente ans plus tard, leur parenté chimique avec les pigments sanguins fut soupçonnée, puis la diversité de chlorophylle reconnue. Au début du XXème siècle, commencèrent les travaux qui en révélèrent la structure et permirent d'en réaliser la synthèse en laboratoire (Lehninger, 2008).

La photosynthèse permet la transformation du bioxyde de carbone et de l'eau en molécules organiques, leur rôle de sensibilisateurs de réactions enzymatiques à l'énergie lumineuse fut longtemps traduit par l'expression d'assimilation chlorophyllienne (Hopkins, 2003).

#### II.2. Les plastes

Le terme de plaste vient du grec plastikos. C'est un organite commun à toutes les cellules végétales. Il prend un aspect bien différent selon le type cellulaire et ses fonctions (Meyer et al., 2013). Mais ils ne sont habituellement présents qu'une seule forme à l'intérieure d'une même cellule, ce qui n'empêche pas de rencontrer simultanément le type jeune et adulte dans des cellules en cours de différenciation (Bowes et Mauseth, 2012).

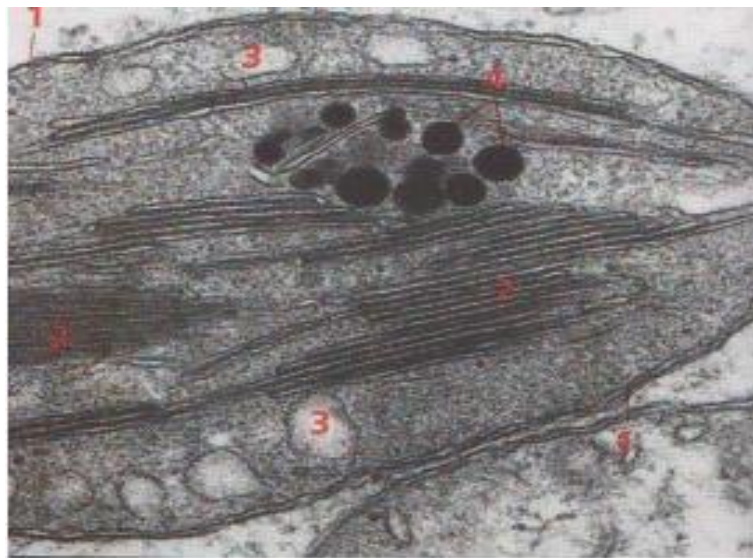
##### II.2.1. Les proplastes

Ces éléments non différenciés, précurseurs des autres plastes, de forme sphérique ou amiboïde. Ne dépassant habituellement pas 1 à 2  $\mu\text{m}$  de large, contenant peu de membranes internes. Ils se rencontrent dans les cellules méristématiques et on dénombre jusqu'à 40 par cellule dans l'apex racinaire. Les proplastes se divisant eux-mêmes, leur nombre demeure à peu près constant dans les cellules formées par les nombreuses divisions cellulaires des méristèmes apicaux. En règle générale, leur nombre augmente ensuite à mesure que les dérivés des cellules apicales grossissent et se différencient. Les différents tissus et organes de la plante adulte voient alors se développer des plastes spécifiques (Weinman et Méhul, 2004).

##### II.2.2. Structure des chloroplastes

Au stade adulte, ils sont normalement oblongs lenticulaires (Figure 8) et mesurent 5 à 10  $\mu\text{m}$  de long. Les membranes de leur enveloppe sont séparées par un espace de 10 à 20 nm de large (Figure 8) (Bowes et Mauseth, 2012).

Chaque membrane possède une perméabilité différente : la membrane externe est une barrière aux protéines cytoplasmiques, mais est perméable aux petites molécules (Meyer et al., 2013). La membrane interne étant parfois reliée à celle des thylakoïdes contenus dans le stroma. Ces dernières sont pour la plupart orientées parallèlement au grand axe du plaste et forment normalement un système photosynthétique tridimensionnel complexe qui se compose de 20 lamelles stomatiques emplies en grana et reliées par des thylakoïdes dits stomatiques ou intergranaires. Chaque granum est constitué de deux à cent disques membranaires aplatis et empilés et chaque membrane granaire renferme un espace intrathylakoïde (Figure 8) (Bowes et Mauseth, 2012).



**Figure 8** : Un jeune chloroplaste (Bowes et Mauseth, 2012).

Section longitudinale d'un jeune chloroplaste : les deux membranes de l'enveloppe (1) avec, à l'intérieure, les thylakoïdes membranaires aplatis et empilés en grana (2), reliés par des thylakoïdes intergranaires, un nombre de vésicules membranaires (3) à la périphérie et un groupe de plastoglobules (4) foncés. 1. Enveloppe du chloroplaste 2. Grana 3. Vésicules membranaires 4. Plastoglobules.

Le principal constituant protéique du stroma est une enzyme, la ribulose biphosphate carboxylase. L'amidon est fréquent dans le stroma des chloroplastes ou il constitue un stockage temporaire de sucre. On observe aussi des plastoglobules qui portent des pigments assurant le transfert des électrons et, quelquefois, des dépôts de phytoferritines, une forme de réserve de fer. Durant le développement foliaire, les chloroplastes se multiplient dans chaque cellule en se divisant (Weinman et Méhul, 2004).

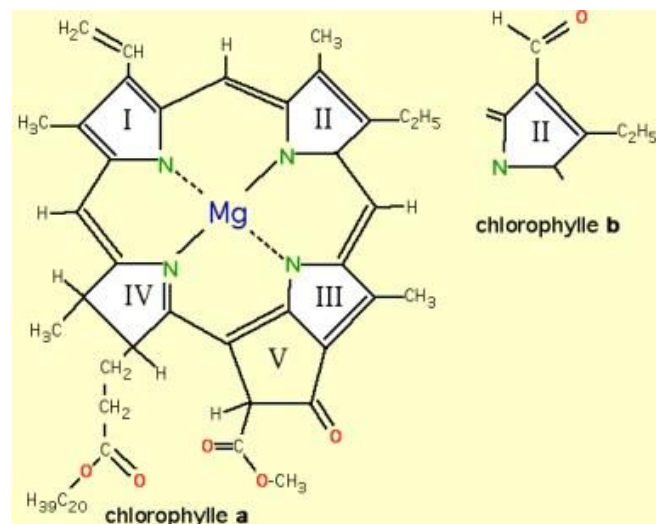
## II.3. Les pigments chlorophylliens

### II.3.1. Définition de la chlorophylle

La chlorophylle est le principal pigment photosynthétique. Elle est présente chez presque tous les organismes photosynthétiques et est à l'origine de leur couleur verte car elle absorbe fortement la lumière visible dans les longueurs d'onde correspondant au bleu et au rouge mais laisse filtrer une grande partie de la lumière verte. On dénombre jusqu'à plusieurs centaines de millions de molécules de chlorophylle dans un seul chloroplaste. Deux structures remarquables caractérisent cette molécule : un noyau tétrapyrrolique ou chlorine, contenant un atome de 21 magnésiums en son centre, et une chaîne terpénique ou phytol, constituée de vingt atomes de carbone. Il existe différentes formes de chlorophylles, dont les seules présentes chez les végétaux supérieurs sont la chlorophylle a et la chlorophylle b. Les autres formes (chlorophylles c et d) présentes chez certaines algues ou bactéries (Féret, 2009).

#### a. Structure des chlorophylles a et b

On regroupe sous le nom de chlorophylle 6 espèces moléculaires répandues dans le monde photosynthétique, telles que chl a, chl b, chl c, chl d, carotènes et xanthophylles. Chez les végétaux supérieurs on en trouve 2 types, la chl a et la chl b qui répondent au squelette moléculaire représenté dans la (Figure 9) (Weinman et Méhul, 2004).



**Figure 9** : Structure des molécules de chlorophylles a et b (Farineau et Morot-Gaudry, 2006).

Les chlorophylles a et b sont toutes deux vertes mais leur spectre d'absorption est légèrement différent. La plupart des végétaux supérieurs contiennent environ deux fois plus de chlorophylles a que de chlorophylle b (Lehninger, 1989).

L'action des polluants, même à faible dose, se manifeste, même avant l'apparition de symptômes visibles, par des modifications dans la proportion des pigments chlorophylliens. Il y a là un moyen de suivre les effets d'une pollution par dosage de ces pigments (Hopkins, 2003).

### **b. structure des chlorophylles a et b**

La structure de la chlorophylle **a** s'adapte à sa fonction biologique qui est montrée sur la figure. Le système à 5 noyaux intensément coloré, qui lui-même forme un plus grand anneau autour de  $Mg^{2+}$ , dote la molécule d'un pouvoir d'absorption de la lumière ;  $Mg^{2+}$  provoque la formation d'agrégats de chlorophylle qui facilitent la capture de la lumière et la longue chaîne latérale hydrophobe ancre et oriente la molécule de chlorophylle dans la bicouche de la membrane (Figure 9) (Voet et Voet, 1998).

Les chlorophylles sont constituées d'un noyau tétrapyrrolique, les pyrroles I, II, III, et IV reliés par des ponts méthényles (-CH-). Chaque pyrrole possède différents substituants : dans le cas de la chlorophylle a, le pyrrole il possède un  $-CH_3$  qui est remplacé par un  $-CHO$  dans le cas de la chlorophylle b. Les atomes d'azote sont liés à un atome de magnésium par deux liaisons ioniques et deux liaisons de coordination. Contre le noyau III se trouve un cycle supplémentaire (V) avec une fonction carboxyle estérifiée par méthanol (Figure 9). La fonction carboxyle associée au noyau IV est estérifiée par l'alcool à très longue chaîne en C20 : le phytol. L'ensemble de la molécule de la chlorophylle est amphiphile. Dans la membrane des thylacoides, les chlorophylles sont associées à des protéines et forment des complexes protéines-pigments (Farineau et Morot-Gaudry, 2006).

## **II.4. Chlorophylles et stress environnemental**

Tous les polluants atmosphériques retenus par les feuilles sont transformés à l'intérieur de la plante et affectent sa respiration, sa transpiration et sa photosynthèse. Les dommages causés se manifestent par des chloroses au niveau des feuilles et des lésions nécrotiques donc par dégradation des chlorophylles. La biosynthèse des chlorophylles est beaucoup plus inhibée par le froid que par la chaleur (Landis and Yu, 1995).

## **II.5. La chlorophylle et la pollution de l'air**

Le changement de la teneur des feuilles en chlorophylle est un des indicateurs relatifs de la vigueur des plantes et de la qualité de l'environnement. Beaucoup d'influence relative de la vigueur des plantes et de la qualité de l'environnement délétère que l'inhibition de la croissance des plantes, allant des carences en éléments nutritifs à la pollution anthropogénique, peut entraîner une diminution de la teneur en chlorophylle des feuilles. A son tour, les propriétés optiques des feuilles dans le spectre visible sont fortement dépendantes de la chlorophylle et peuvent donc servir d'indicateurs relatifs de la vigueur de la plante et de la qualité environnementale (Gregory et al., 2002).

## **II.6. L'effet de la pollution atmosphérique sur la photosynthèse**

Bien qu'il soit difficile de généraliser la façon dont les divers polluants interfèrent avec les processus métaboliques, il existe entre eux plusieurs points communs. Tous les polluants gazeux pénètrent par les stomates vers les espaces intra cellulaires. Il est connu qu'ils peuvent changer la conductance stomatale directement en affectant les cellules de gardes ce qui altère la photosynthèse (Chakhparonian et Zryd, 1995).

D'autre part leur effet direct sur la photosynthèse peut conduire à des perturbations du contrôle de conductance stomatale par l'effet de rétroaction du CO<sub>2</sub>. En générale, les résultats des expériences visant à établir l'effet des polluants sur la conductance stomatale sont contradictoires justement à cause de l'interaction de ces deux voies d'impact. Après pénétration, les polluants agissent sous forme radicalaire plutôt que sous leur forme native. Ils peuvent se dissoudre dans l'eau de surface des cellules, en affectant par là le Ph cellulaire et réagir avec les parois des cellules du mésophile. En fait, la paroi polysaccharidique étant relativement inerte, l'élément le plus touché reste la membrane cellulaire et notamment les protéines intermembranaires. Les effets ne sont pas limités à la membrane cytoplasmique, mais atteignent aussi les organites cellulaires, dont les chloroplastes qui sont les plus frappés.

## **Chapitre III**



### **La pollution atmosphérique par les Aérosols et relation avec la végétation**

## **Chapitre III**

### **La pollution atmosphérique par les aérosols et relation avec la végétation**

#### **Introduction**

La dégradation physique, chimique et biologique, aigue ou chronique, au niveau des diverses écosystèmes est la traduction de la présence de substances, particules et déchets censés ne pas être dans le milieu naturel. Il s'agit d'un concept relativement global de la pollution de l'environnement. Aujourd'hui, il est impossible de trouver un air totalement exempt de la pollution même dans les territoires les plus loin de la source de pollution.

#### **III.1. La pollution Atmosphérique**

Selon la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie de 1996, La pollution atmosphérique est définie comme : l'introduction par l'homme directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, des substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux écosystèmes, à influencer sur le changement climatique (JO, 1997).

Selon l'EPC (2021), La pollution atmosphérique peut être définie comme la présence de produits chimiques ou de composés toxiques (y compris ceux d'origine biologique) dans l'air, à des niveaux qui présentent un risque pour la santé. Dans un sens encore plus large, c'est la présence de produits chimiques ou de composés dans l'air qui ne sont généralement pas présents et qui diminuent la qualité de l'air ou provoquent des changements préjudiciables à la qualité de vie.

##### **III.1.1. Les polluants Atmosphérique**

###### **III.1.1.1. Les principaux polluants de l'air en relation avec les aérosols**

La pollution atmosphérique consiste en des gaz, des liquides ou des solides, présents dans l'atmosphère à des taux suffisamment pour porter atteinte à l'homme et à d'autres organismes ou matières (Berg et al., 2009).

Le tableau suivant résume les principaux polluants solides pouvant avoir une origine concrète avec les polluants sous forme de poussières.

**Tableau 1** : Les principaux polluants de l'air en relation avec les aérosols (Raven, 2009)

<b>polluants</b>	<b>Composition</b>	<b>Primaire ou secondaire</b>	<b>caractéristique</b>
<b>Aérosols</b>			
<b>Poussière</b>	Variable	Primaire	Particule solide
<b>Plomb</b>	Pb	Primaire	Particule solide
<b>Acide sulfurique</b>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Secondaire	gouttelettes

### **III.1.1.2. Effet de la pollution atmosphérique sur l'environnement**

#### **a. Altérations des écosystèmes**

Les apports en polluants de l'air engendrent un déséquilibre de l'écosystème. Cette transformation du milieu se traduit en général par un appauvrissement de la biodiversité puis par la perturbation du fonctionnement général des écosystèmes. La pollution de l'air affecte également la faune par déclin de certaines populations pollinisatrices, difficultés de certaines espèces à se reproduire ou à se nourrir. Elle modifie la physiologie des organismes, l'anatomie et les caractéristiques du biotope des populations du milieu (A A R A, 2016).

#### **b. Effets sur les écosystèmes forestiers**

Les écosystèmes forestiers sont ceux dont la sensibilité à la pollution atmosphérique est la plus étudiée (Zaninotto et Fuar, 2015). Ainsi, dans les années 1930, des exploitations de conifères furent abandonnées au Royaume-Uni car le niveau de SO<sub>2</sub> y était trop important (Lines and Roger, 1984). En Europe aussi ces dommages sont particulièrement conséquents où la moitié des arbres présente des dommages importants, les espèces les plus touchées étant les chênes (*Quercus*), les pins (*Pinus*) et les sapins (*Abies*). Outre la défoliation, précédée par une chlorose, les arbres affectés présentent des nécroses, déformations des racines, vulnérabilité aux maladies et parasites (Zaninotto et Fuar, 2015).

Cependant, malgré l'intérêt apporté par la recherche à ce sujet, il est difficile de comprendre les processus qui résultent de l'exposition à des polluants, et leurs conséquences sur la diversité des espèces. En effet, les arbres, qui sont les organismes végétaux dominants en écosystème forestier ont une durée de vie trop importante pour que des projets de recherche à long terme puissent mesurer les impacts d'une pollution chronique. Néanmoins, les réponses biogéochimiques des écosystèmes forestiers à la pollution atmosphérique sont assez bien connues, ainsi que les impacts de certains polluants en particulier (Zaninotto et Fuar, 2015).

Bien qu'il ait rarement d'impact biologique direct, le soufre, sous forme dioxyde gazeux plus ou moins assimilé par les végétaux et micro-organismes après dépôt, provoque des réponses

importantes dans les environnements forestiers. Le dépôt de  $H_2SO_4$ , en apportant des ions  $H^+$ , provoque une acidification des sols, éliminant le calcium et le magnésium, et mobilisant l'aluminium toxique pour les racines (Zaninotto et Fuar, 2015).

## **III.2. Pollution par les aérosols**

### **III.2.1. Définition des aérosols**

On définit de manière générale un aérosol comme étant une particule solide ou liquide en suspension dans un gaz. Cette définition n'est pas tout à fait adaptée à l'atmosphère pour laquelle on souhaite distinguer les particules nuageuses des autres types de particules. Nous définissons donc un aérosol comme une particule solide ou liquide en suspension dans l'air, à l'exception de tous les hydrométéores (gouttelettes d'eau nuageuse, cristaux de glace dans les nuages, gouttes de pluie, grêlons et flocons de neige) (Boucher, 2012).

Les aérosols sont toujours présents dans l'atmosphère mais dans des concentrations extrêmement variables. Cela est dû à la grande hétérogénéité des sources d'aérosols et à la durée de vie relativement courte de ceux-ci dans l'atmosphère (de l'ordre de quelques heures à quelques semaines) (Boucher, 2012).

La grande majorité des aérosols ne peut être vue à l'œil nu en raison de leur taille microscopique mais on peut utiliser leurs effets collectifs dans l'atmosphère dès lors que les concentrations sont assez élevées. Par exemple, une brume sèche qui réduit la visibilité et blanchit l'atmosphère n'est autre qu'un ensemble d'aérosols qui interagit avec le rayonnement solaire. Un panache de fumée, quant à lui, est composé d'aérosols microscopiques qui proviennent de la combustion incomplète de combustibles carbonés et dont l'effet collectif est d'obscurcir le ciel (Boucher, 2012).

Les aérosols pouvant être visibles sont en grandes quantités sur la surface terrestre comme cela est le cas lorsque des poussières sahariennes se déposent sur le manteau neigeux. On peut en revanche voir et observer les aérosols un par un à l'aide d'un microscope électronique. On remarque déjà la variété de tailles, de formes et d'aspects parmi les aérosols atmosphériques. Les quantités et les propriétés des aérosols sont extrêmement variables dans l'espace et dans le temps. C'est pourquoi on s'intéresse généralement à la nature à une population d'aérosols (Boucher, 2012).

### **III.2.2. Classification des aérosols**

#### **III.2.2.1. Classification selon sa distribution en taille (selon le diamètre)**

Les aérosols primaires sont directement émis ou injectés dans l'atmosphère : poussières désertiques dues à l'érosion, embruns marins, aérosols résultant de feux de végétation ou issus de la combustion des énergies fossiles. Leur taille varie entre quelques dixièmes de micron à quelques microns (Tanré, 2011). Appeler aussi les aérosols détritiques : constitués de 20 à 30 % de débris de pneus, de particules métalliques (plomb, zinc, fer, cuivre, cadmium, etc...), de poussière de charbon, de poussières émises par les incinérateurs de déchets, etc... Les aérosols transportent aussi de l'eau qui, lorsque le taux d'humidité augmente, se condense sur les particules. Celles-ci grossissent et forment des nuages ou des brouillards (Masclat, 2005).

Les aérosols secondaires sont de taille submicronique et résultent de transformations chimiques, conversion gaz - particules ou interaction avec les gouttelettes des nuages. À cela, il faut ajouter les particules provenant d'éruptions volcaniques, cendres ou aérosols formés par injection de SO<sub>2</sub> (Tanré, 2011). Il y a aussi les aérosols de conversion, formés de 70 à 80 % de condensation de vapeurs émises par rejets industriels, véhiculaires et la combustion du bois et des combustibles fossiles, lorsque la pression de vapeur du composé excède le point de saturation (Masclat, 2005).

#### **III.2.2.2. Classification selon la taille**

**a) Les grosses particules sédimentaires** : Elles mesurent en moyenne 20 µm et se localisent dans les basses couches de la troposphère, au-dessous de 3000 m d'altitude, et retombent rapidement au voisinage de leur source d'émission dans les conditions météorologiques usuelles. Elles prédominent dans l'atmosphère des agglomérations fortement industrialisées (Ramade, 2005).

**b) Les particules semi-finies** : Elles ont une taille comprise entre 2,5 et 0,1 µm. Cette dernière dimension représente la limite de taille inférieure de ces particules car au-dessous de celle-ci, la sédimentation spontanée d'une particule n'est plus possible. Les particules solides de taille inférieure à 1 µm sont très importantes au point de vue météorologique car elles constituent des noyaux de condensation très efficaces pour la vapeur d'eau atmosphérique (Ramade, 2005).

**c) Les particules insédimentables** : Elles constituent les plus petits éléments des aérosols atmosphériques. Leur taille inférieure à  $0,1 \mu\text{m}$  peut descendre au-dessous de  $10\text{\AA}$ . On dénomme souvent particules ou noyaux d'Aitken, les plus petites d'entre elles d'un diamètre inférieur à  $100 \text{\AA}$ . Leur diamètre moyen est à peine de  $300 \text{\AA}$  ! Elles sont de composition chimique souvent inconnue par suite de la masse infime qu'elles représentent par rapport aux autres particules polluantes. Se rencontrent dans toute l'atmosphère mais leur concentration décroît très vite au-delà de la tropopause. Elles sont insédimentables, par suite de leur faible taille (Ramade, 2005).

**d) Les brouillards** : il s'agit d'aérosols atmosphériques au sens strict qui apparaissent dans diverses situations météorologiques naturelles. En effet, ils sont constitués de microgouttelettes d'eau souvent en surfusion, en suspension dans l'air, plus rarement de micro-cristaux de glace, de taille généralement inférieure au micron qui se forment par temps calme lorsque l'air est saturé de vapeur d'eau. Ce phénomène présente un maximum de fréquence sur les rivages marins, au bord des lacs et dans les vallées des zones montagneuses. On a constaté néanmoins de longue date une augmentation considérable de la fréquence des épisodes où se forment des brouillards ; elle est apparue très directement liée à la pollution atmosphérique (Ramade, 2005).

### **III.2.2.3. Classification selon l'origine**

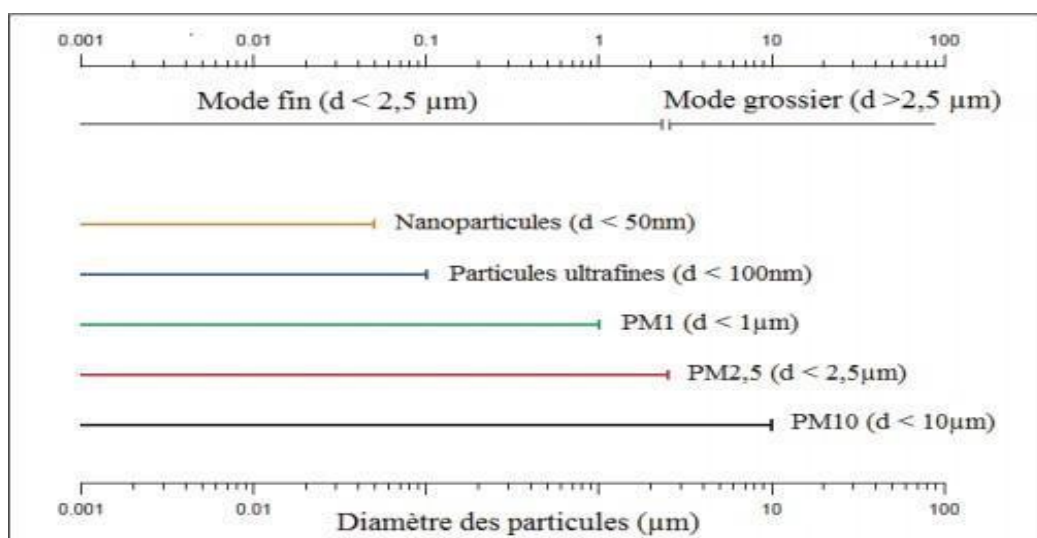
Les aérosols peuvent aussi être classés en fonction de leur source. On distingue les sources naturelles et les sources anthropiques. Parmi les sources naturelles, on trouve les émissions par l'océan, les sols, les feux de végétation, ou encore les volcans. Les sources anthropiques sont largement dominées par la combustion de combustibles fossiles (tourbe, charbon et pétrole), de biocarburants (agrocarburants, bois, déchets d'animaux) ou de feux de végétation provoqués par l'homme. Les activités industrielles, le transport, le chauffage, voire les émissions domestiques dues à la cuisson des aliments dans les pays en voie de développement sont des sources importantes d'aérosols. Certaines activités industrielles et agricoles génèrent aussi des aérosols primaires appelés poussières (Boucher, 2012).

Aucune de ces classifications ne permet de caractériser l'aérosol de manière systématique et complète. En effet, les différentes populations d'aérosols se mélangent et interagissent dans l'atmosphère si bien que certains termes introduits précédemment peuvent être des abus de langage (Boucher, 2012).

### III.2.3. Dimensionnement des aérosols

On considère toutes les particules comme sphériques ou assimilées à des sphères. Leur taille est définie par le diamètre aérodynamique moyen appelé  $D_p$ . La taille des particules s'étale sur plusieurs ordres de grandeur : de 0,001  $\mu\text{m}$  à 100  $\mu\text{m}$  (Figure 10) (Boucher, 2012).

- $D_p < 0,1 \mu\text{m}$  : fine particules ou noyaux d'Aitken. Ces particules sont essentiellement dues à la conversion des gaz.
- $0,1 < D_p < 2,0 \mu\text{m}$  : les particules moyennes ou mode d'accumulation (les plus importantes en chimie atmosphérique). Comme le nom l'indique, les particules formées par conversion grossissent et s'accumulent.
- $D_p > 2,0 \mu\text{m}$  : les grosses particules. Il s'agit de particules détritiques, de sable ou de particules très chargées en eau.



**Figure 10 :** Terminologie de classification des particules atmosphériques en fonction de leur taille (Schneider and Voigt, 2011)

#### III.2.3.1. Concentrations des aérosols

Dans le tableau suivant, sont mentionnées les concentrations des différents aérosols dans les trois compartiments de la biosphère.

**Tableau 2 :** Concentrations des aérosols (Boucher, 2012).

Type d'aérosols	Concentration en masse ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Concentration en nombre ( $\text{cm}^{-3}$ )
Urbain	100	$10^5$ - $10^6$
Terrestre	40	5000
Maritime	10	500
Polaire	1	25

### III.2.3.2. Structure probable de l'aérosol

La figure synthétise la vision actuelle de la constitution de l'aérosol de pollution, qui semble donc être constitué (Masclat, 2005) :

- 1- D'un cœur formé de carbone suie (carbone amorphe) et oxydes métalliques avec une couleur noire dominante,
- 2- D'une couverture épaisse d'électrolytes hydro solubles tels que les sulfates.
- 3- Des composés organiques déposés sur cette couche d'électrolytes.

Ces composés proviennent des gaz adsorbés (COV) ayant ou non réagi photochimiquement. À l'heure actuelle on ne connaît pas l'épaisseur de cette couche et on ne sait pas si cette couche est continue ou non,

4- De l'eau à l'extérieur de la particule ayant partiellement solubilisé l'électrolyte. Elle est attachée aux composés organiques par les fonctions hydrophiles de ces derniers (Figure 11).

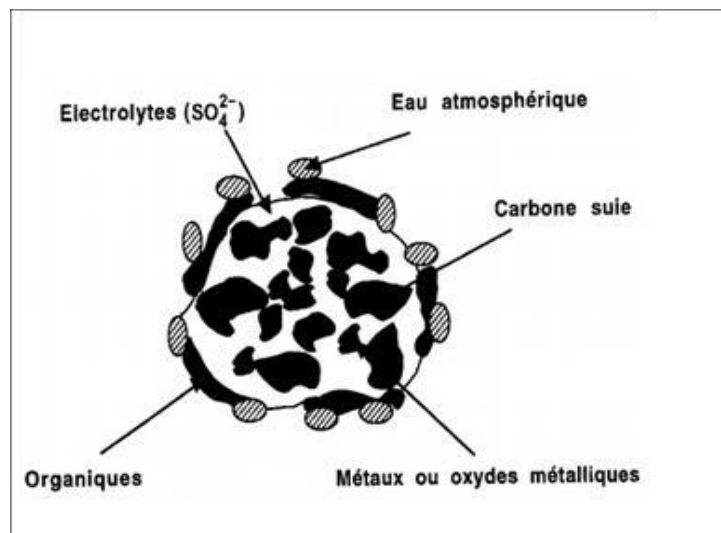


Figure 11 : Structure probable de l'aérosol (Masclat, 2005)

### III.2.4. Mode de formation des particules

Il existe trois modes de formation des aérosols :

**a) Nucléation :** La nucléation de particules solides ou liquides à partir de précurseurs gazeux ou ioniques est le mécanisme de base de la formation de nouvelles particules dans l'atmosphère (Delmas et al, 2005).

**b) Condensation :** combinaison de deux phénomènes, l'absorption et l'adsorption c'est le dépôt, sous forme de vapeur, de matière gazeuse sur des particules déjà existantes, formées par le processus de nucléation (Masclat., 2005).

c) **Coagulation** : collision entre deux particules : les particules se regroupent entre elles lors de collisions entre ces particules. Un choc entre deux particules conduit à la formation d'une particule plus grosse que les deux particules de départ (Figure 12) (Masclat, 2005).

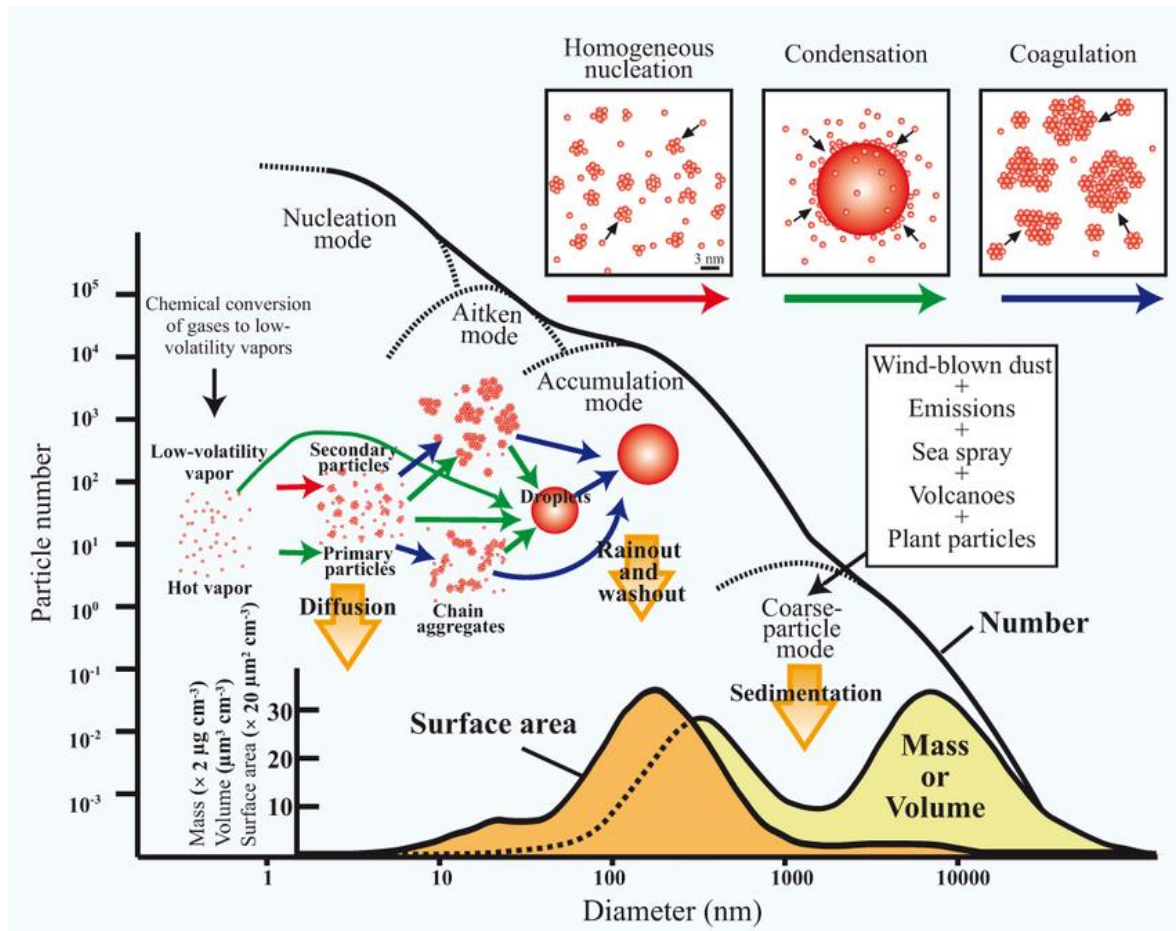


Figure 12 : Evolution d'un aérosol atmosphérique (www.dwd.de)

### III.3. Effets des aérosols

#### III.3.1. Effets sur les écosystèmes

D'après Agbaire et Esiefarienne (2009), les plantes constamment exposées aux polluants environnementaux absorbent, accumulent et intègrent ces polluants dans leurs systèmes. Il ont rapporté qu'en fonction de leur niveau de sensibilité, les plantes présentent des changements visibles qui incluraient une altération des processus biochimiques ou une accumulation de certains métabolites.

Les polluants peuvent endommager les feuilles, les stomates, la sénescence prématurée, diminuer l'activité photosynthétique, perturber la perméabilité des membranes et réduire la

croissance et le rendement des espèces végétales sensibles (Tiwari et al., 2006). L'exposition à long terme et à faible concentration de la pollution atmosphérique a des effets néfastes sur les feuilles des plantes sans dommage visible (Joshi et al., 2009).

Plusieurs études ont été menées pour évaluer les effets de la pollution sur différents aspects de la vie végétale tels que la croissance et le développement en général (Gupta et Chouse, 1987; Misra et Behera, 1994). la morphologie foliaire (Farooq et al., 2000; Pal et al., 2000; Shrivastava et Joshi, 2002; Gostin, 2009; Sukumaran, 2012), l'anatomie et les changements biochimiques (Garty et al., 2001; Mashitha et Pise, 2001 ; Rai et al., 2013; Rai et al., 2013; Rai et Singh, 2015; Rai, 2016a, b).

Les effets des poussières tels que le ciment, la poussière de pétro-coke, les cendres volantes, la poussière de charbon, les gaz d'échappement d'automobiles et d'autres particules en suspension dans l'air, sur divers paramètres morphologiques et physiologiques dans différentes usines, ont été bien étudiés par de nombreux auteurs (Naidoo et Chirkoot, 2004a, b; Verma et Singh, 2006; Prajapati et Tripathi, 2008 a,b; Saha and Padhy, 2011; Rai et al., 2013;; Rai and Singh, 2015; Rai, 2016,b).

### **III.3.2. Effet physiologique et biochimique sur les plantes ou les feuilles des plantes**

#### **a) Le pH**

Les aspects de croissance et de développement des plantes sont affectés par les particules en suspension dans l'air en fonction de leur nature physique et chimique. Le pH de la poussière peut modifier le pH de l'extrait de feuille des plantes. Les changements du pH de l'extrait de feuille pourraient influencer la sensibilité des stomates en raison des polluants atmosphériques.

En présence d'un polluant acide, le pH des feuilles est abaissé et cette baisse est plus importante chez les espèces végétales sensibles. Le pH bas de l'extrait de feuille a montré une relation avec le type de pollution atmosphérique .Les poussières dont le pH est > 9 peuvent causer des dommages directs aux tissus foliaires sur lesquels elles sont déposées (Vardak et al., 1995) ou indirectement par modification du pH du sol (Hope et al., 1991) et les poussières contenant des sels solubles toxiques auront également des effets néfastes sur les plantes (Prajapat et Tripathi, 2008 a, b, c, d).

### **b) Teneur relative en eau**

L'eau joue un rôle important dans la vie végétale. La teneur relative en eau exprime l'équilibre de l'absorption et de la régénération de l'eau par les plantes (Jones, 1994). Une teneur élevée en eau dans un corps végétal peut aider à maintenir son équilibre physiologique dans des conditions de stress de pollution atmosphérique (Singh et Verma, 2007). Une teneur en eau relative élevée favorise la résistance des plantes (Dedio, 1975). Une Plante avec une teneur en eau suffisante, peut encore augmenter la superficie totale des feuilles comme indiqué par Schuppler et al., (1998).

### **c) Teneur en pigments, photosynthèse et stomates**

Le pigment photosynthétique chlorophylle, trouvé dans les chloroplastes des plantes vertes, est un indice de productivité et est appelé photorécepteur. Les pigments photosynthétiques sont les plus susceptibles d'être endommagés par la pollution atmosphérique (Prusty et al., 2005).

# Matériels et méthodes

## Chapitre IV



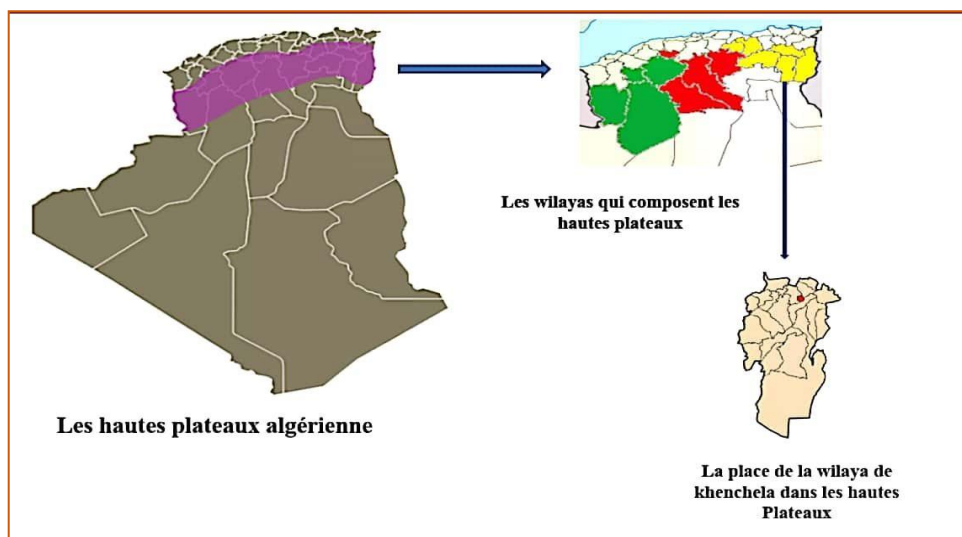
## Présentation de la zone d'étude

## Chapitre IV

### Présentation de la zone d'étude

#### Introduction

De part de sa position géographique, la wilaya de Khenchela fait partie de l'unité régional des hautes plaines Constantinoises mais officiellement, elle fait partie du grand ensemble régional des hauts plateaux, où elle se situe aux portes des grandes villes du sud du pays et non loin des villes métropolitaines de l'Est algérien (Figure 13).



**Figure 13** : Position de la wilaya de Khenchela dans les hauts plateaux algériens.

En outre, la wilaya enregistre une complexité topographique et une diversité biologique très importantes, elle présente aussi des tranches altitudinales très variables allant de 2328 m (Ras Kaltoume), à - 26 m au-dessous du niveau de la mer à chott Melghir.

Grace aux diversités appréhendées, la wilaya jouit d'une vocation agro-sylvo-pastorale et saharienne édictant quatre zones agricoles : les montagnes, les plateaux, les plaines les parcours steppiques (Figure 14) (CF, 2012).

De plus de leur importance comme patrimoine naturel, la fonction qu'elle remplit en qualité des écosystèmes du massif d'Ouled yagoub qui se positionne sur les hauts plateaux de l'Est algérien, la région appartient au grand ensemble des massifs des Aurès de la wilaya, faisant partie des forêts domaniales d'Ouled yagoub, ce qui explique la place socio-économiques rendue par cette région pour la wilaya, spécialement dans les domaines de l'écotourisme de

montagnes). L'arboriculture et la sylviculture qui ont été largement encouragées ces dernières années, et en même temps explique l'obligation de protéger et de conserver cette région concernée par notre étude.



Figure 14 : ZONES naturelles de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012).

#### IV.1. Présentation générale

##### IV.1.1. Description générale et localisation de la wilaya de Khenchela

La wilaya de Khenchela est située à l'Est du pays, au contrefort des monts des Aurès, dans l'aire géographique comprise entre 6° 32' et 7° 34' de longitude Est et 35° 7' et 35° 38' de latitude Nord. Elle est limitée au Nord par la wilaya d'Oum El Bouaghi, au Nord-ouest par la wilaya de Batna, au Sud-ouest par la wilaya de Biskra, au Sud, par la wilaya d'El Oued et à l'Est par la wilaya de Tébessa (Figure 15).

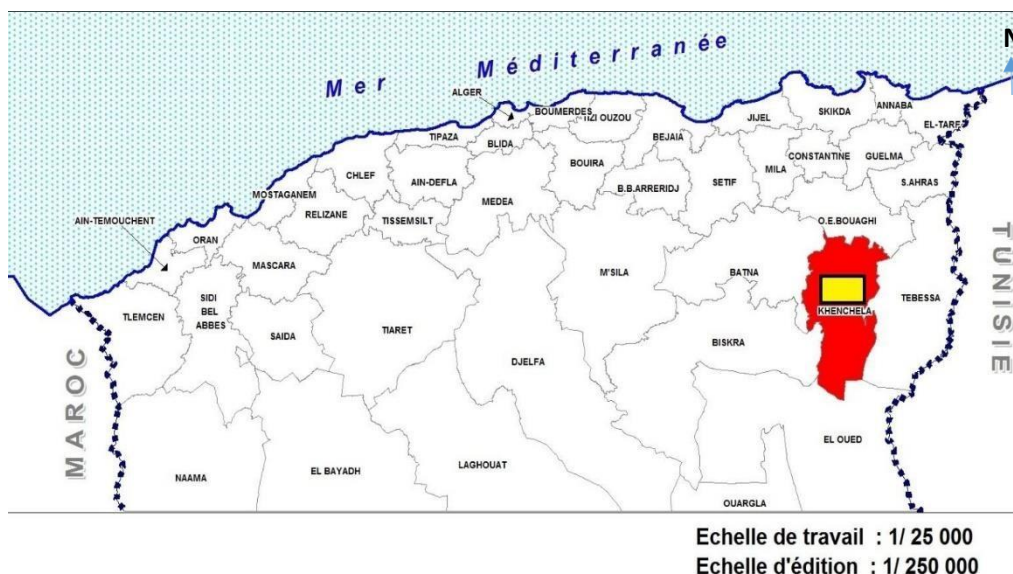


Figure 15 : Localisation de la wilaya de Khenchela dans le nord de l'Algérie (DSA, 2011)

## **IV.2. Situation administrative**

La Wilaya de Khenchela est une des 48 Wilayat du pays. Née du découpage administratif de 1984 de la Wilaya mère de Batna et elle était rattachée à trois wilaya différentes :

- Oum El Bouaghi pour daïra de Khenchela.
- Tébessa pour la daïra de Chechar.
- Batna pour la daïra de Kais.

Elle couvre une superficie de 9715,6 Km<sup>2</sup>, soit 0,4 % du territoire national. Elle est composée de 08 Daïrat subdivisées en un total de 21 Communes.

## **IV.3. Caractérisation de la Zone d'étude**

Le cadre relatif à cette étude est constitué par le massif des Ouled Yagoub, qui se trouve dans la région montagneuse des Aurès, prolongement oriental de l'Atlas Saharien, situé entre 6° 47' et 7° 7' de longitude Est et 35°18' – 35° 29' de latitude Nord. Ce massif est limité à l'Est par les monts Chentgouma (2113 m), Aidel (2192 m) et Feraoun (2093 m) ; l'Ouest par la vallée de l'Oued Mellagou et la route reliant les localités de Kais et bouhmama ; au Nord par la route national reliant la ville de Batna à celle de Khenchela et au sud par la plaine de Mellagou qui prolonge la forêt des Beni meloul.

### **IV.3.1. Situation géographique**

À 25 km au sud-ouest de la capitale de la wilaya et au niveau de la route nationale N 88 reliant les wilaya Khenchela-Batna, au milieu de la plus importante réserve forestière de la région des Aurès -massif d'Ouled yagoub-, d'une superficie de 2 200 hectares, se trouve la ville d'Ain Mimoun, qui, en plus de sa richesse forestière, on trouve à 9 km de la route nationale 88 de cette zone agro-pastorale la plus importante unité de traitement de minerai de baryte (SOMIBAR) dans l'Est algérien.

### **IV.3.2. Caractères géomorphologiques**

#### **IV.3.2.1. Relief**

La structure physique de la Wilaya de Khenchela est très hétérogène. Elle se caractérise par trois régions naturelles distinctes (Figure 16) :

**-Les hautes plaines du nord :** Constitués par le bassin de Gareat Tarf qui comprend les plaines de Remila Boudreham et de M'toussa, ainsi que le plateau des Ouled Rechache, plaines de Mahmel et de Zoui et la plaine de Khenchela.

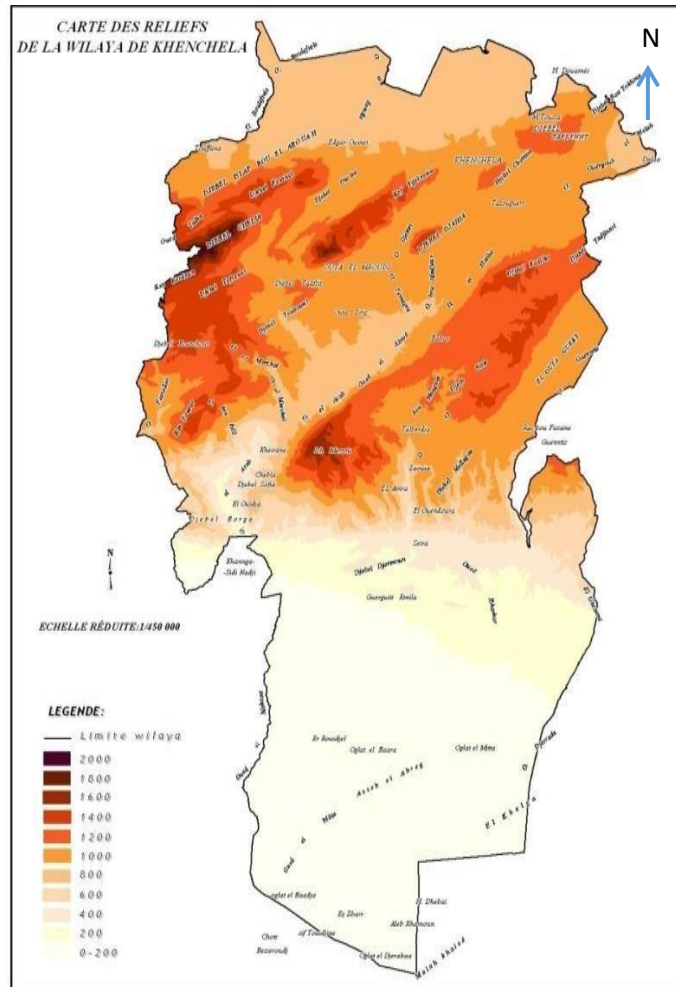


Figure 16 : Carte des reliefs de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012).

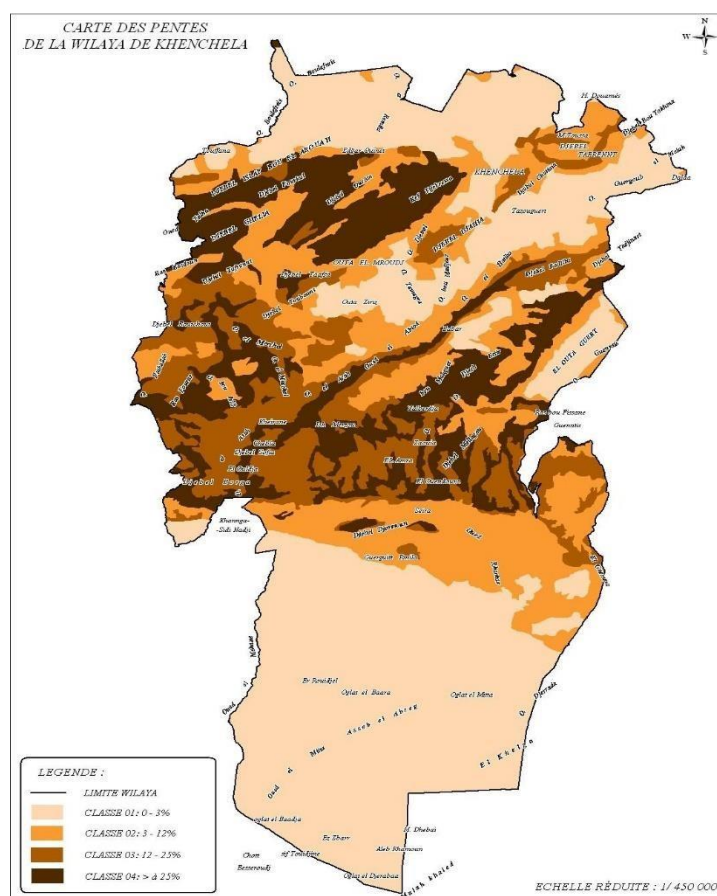
- **La zone montagneuse** : Occupe les parties centrales ouest de la wilaya. Constituée de deux massifs importants : les Aurès et les monts de Nemamcha.
- **Les parcours steppiques et sahariens** : Couvrent la moitié sud de la wilaya.

#### IV.3.2.2. La Pente

Une carte des classes de pente caractérisant le territoire de la wilaya a été dressée (Figure 17), sur la base de la grille retenue par le MATET (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme) pour le classement des zones de montagnes. Cette grille, qui tient compte de l'utilisation souhaitable des terres, préconise 04 classes :

- **Classe 1** : pente comprise entre 0 et 3,5 % : Relativement favorable à l'intensification agricole (mécanisation et irrigation) et à la réalisation d'infrastructures techniques.

- **Classe 2** : pente comprise entre 3 à 12,5 % : Elle est favorable au développement d'une agriculture intensive à semi intensive.
- **Classe 3** : pente comprise entre 12,5 et 25 % : Favorable à l'arboriculture fruitière et autres cultures pérennes fixatrices du sol au détriment des cultures annuelles et notamment les grandes cultures
- **Classe 4** : pente supérieure à 25 % : constituant de ce fait une contrainte majeure pour la pratique des activités agricoles et un handicap pour la réalisation des infrastructures socioéconomiques. A ce titre, l'occupation du sol au niveau de cette doit privilégier la sylviculture.



**Figure 17** : Carte des pentes de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012).

#### IV.3.2.3. La géologie

Une partie de la commune d'Ain Mimoun se trouve entièrement dans le crétacé inférieur. Ses sols reposent sur les anticlinaux de Chélia et de Khenchela et au cœur du synclinal de Djebel Aurès avec un faciès gréseux, marno-calcaire et de dolomies (B.N.E.F, 2004). Les roches mères sont des calcaires, des marnes, des argiles parfois du gypse (Faurel et Laffite, 1949).

### IV.3.3. Caractères pédologiques

On dénombre six classes de sols, auxquelles il convient d'ajouter la classe des sols minéraux bruts où on assiste à un affleurement de la roche mère, et la classes des sols halomorphes (Figure 18) :

- **Les sols calcaires humifères** : Ils sont rencontrés sur les monts et les piémonts de l'Aurès, à une altitude comprise entre 1000 et 1500 mètres.
- **Les sols insaturés humifères** : Ces sols sont rencontrés sur les reliefs les plus élevés (plus de 1500 mètres d'altitude) de l'Aurès. Ils sont occupés par des forêts.
- **Les sols calciques** : Ces sols sont rencontrés sur les bas piémonts, et sur les hautes plaines longeant la route qui mène de Kenchela à Faïs en passant par Kaïs et Remila. Ils s'étendent à l'Est jusqu'à Ain Touila et au Sud jusqu'à Babar en partant de Khenchela.
- **Les roches mères** : Ces roches, résultant d'une érosion intense due a une conjugaison de facteurs négatifs (relief montagneux, intensité des pluies, substratum tendre et une absence de couvert végétal pérenne) affleurent notamment les monts de Nemamcha.

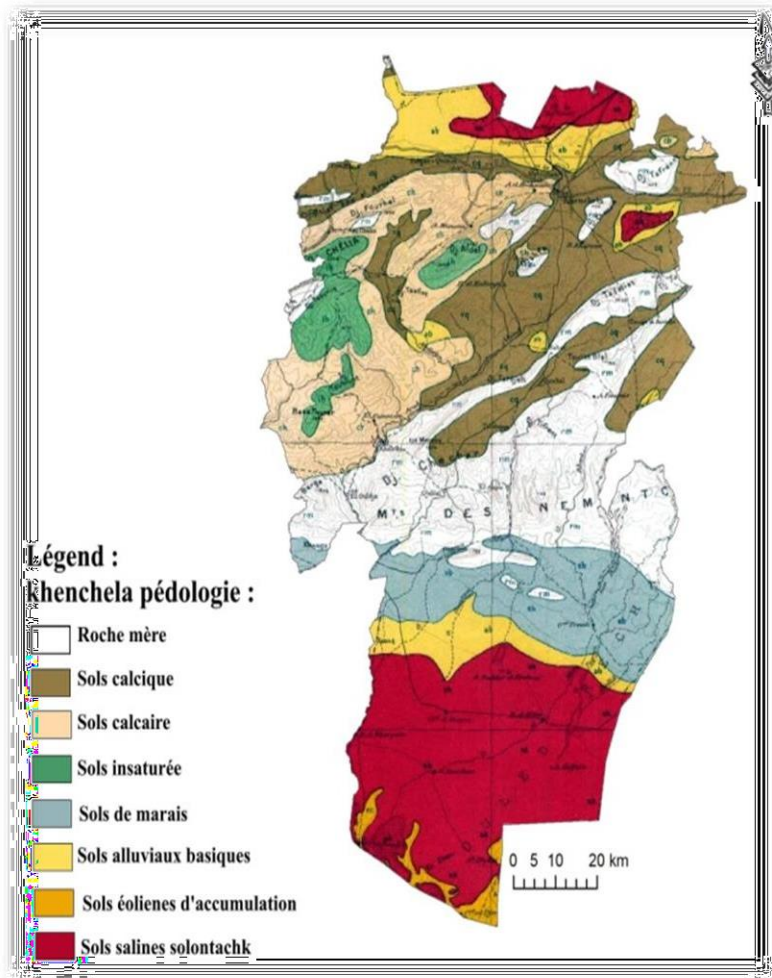


Figure 18 : Carte pédologique de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012)

L'analyse des cartes géologiques et pédologiques, montre que les sols de pinède des Ouled yagoub sont calcimorphes (rendzines) à différents stades d'évolution ou de dégradation. Sur les forêts pentes on rencontre des lithosols ou sols squelettiques à faibles profondeurs pleins de cailloux, reposant sur des couches géologiques compactes, affleurant. Où la végétation herbacée a du mal à s'installer et où l'érosion est par endroit très intense. La couche humifère est pauvre avec souvent un humus très peu décomposé. Ce qui s'explique par le surpâturage, les incendies et l'érosion qui en résulte. La litière quand elle existe se compose d'aiguilles de pin et de feuilles de chêne vert et d'autres espèces arbustives caractéristiques de la pinède (B.N.E.F, 2004).

#### IV.3.4. La richesse floristique

La wilaya de Khenchela dispose d'un important couvert végétal, regroupant plusieurs associations végétales naturelles et représentant une des plus belles forêts d'Algérie. Elles sont classées en forêts de production et de protection, réparties sur trois principaux massifs : les Beni-Imloul, les Beni-Oudjana, et les Ouled Yagoub. Associé aux reboisements du Barrage Vert, le couvert forestier de la wilaya occupe une superficie de 128.898 ha, ce qui se traduit par un taux de recouvrement de 30 % légèrement supérieur à la moyenne national qui est de 10 %. La zone d'étude renferme par ordre d'importance des différents types d'espèce (tableau 3) : Les essences principales qui y dominant sont : le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill), le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M), le chêne vert (*Quercus ilex*) ; le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*) (B.N.E.F 2004).

**Tableau 3** : Occupation du sol dans le massif des Ouled Yagoub (B.N.E.F, 2004)

Vocation	Surface en hectares				
	Cédraies	Pinèdes	Chêne vert	Parcours	Totaux
<b>Production</b>	2045,7	1009,43	1959,58	1276,90	<b>6291,65</b>
<b>Protection</b>	1060,08	-	516,10	276,90	<b>1853,08</b>
<b>Improductive</b>	134,30	-	492,66	520,23	<b>1147,19</b>
<b>Total</b>	<b>3240,12</b>	<b>1009,4</b>	<b>2968,34</b>	<b>2074,03</b>	<b>9291,92</b>

Il y a aussi des essences secondaires qu'on rencontre en mélange avec le cèdre ou le chêne vert telles que : L'if (*Taxus baccata*) ; le sorbier (*Sorbus aria*) ; l'érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*) ; le frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha*) ; le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*) (B.N.E.F, 2004). A une distance de plus de 08 km de l'unité d'exploitation de la baryte, des surfaces sont occupées par des céréales et des cultures maraichères.

## Matériels et méthodes

### Chapitre V



---

### Etude climatique de la région

## Chapitre V

### Etude climatique de la région

#### V.1. La climatologie

La climatologie est l'étude des échanges énergétiques et hydriques entre la surface de la terre et l'atmosphère, appelée également climatologie physique ou climatologie, combinée avec la fréquence et la succession d'événements météorologiques (climatologie statistique et climatologie dynamique), dont l'action influence directement ou indirectement l'existence des êtres qui y sont soumis ou climatologie appliquée ou surtout bioclimatologie (Hufty, 2001). La bioclimatologie se situe au niveau de la végétation ou des organismes supérieurs (Péguy, 1970). Elle a pour objet la caractérisation et la classification des différents types de climats, leur localisation géographique, l'étude des causes de leur diversification et, en un lieu donné, l'analyses de leur variabilité temporelle (Guyot, 1999).

#### V.2. Place, rôle et impotence de la bioclimatologie dans l'étude de l'environnement

La bioclimatologie est une branche de l'écologie, qui peut se définir comme étant la science de l'étude des relations entre les êtres vivants et le milieu ambiant, lui-même se caractérisant par des facteurs physiques, chimiques et biologiques. Les premiers sont pratiquement liés à des phénomènes énergétiques de nature climatique ; ces facteurs comprennent le rayonnement, la température, le vent et dans une certaine mesure l'eau qui intervient aussi sous l'angle chimique. Les facteurs chimiques, le gaz carbonique et l'oxygène, sont constitués des éléments minéraux nécessaires à la vie.

Cette discipline fait appel à de nombreuses connaissances issues d'autres domaines scientifiques, comme l'énergétique, la thermodynamique, la physiologie, la génétique,... Elle se situe au carrefour de la physique et de la biologie et son domaine d'activité se trouve dans la biosphère continentale et particulièrement au niveau de l'interface sol-air : c'est une discipline de synthèse par excellence (De Parcevaux et Huber, 2007).

La bioclimatologie vise à étudier les conditions d'adaptation du climat à la plante et inversement. Pour cela, elle dispose de divers moyens d'action sur les plantes tels que l'utilisation de variétés génétiques aux exigences variées, la possibilité pour les espèces annuelles sensibles au gel (haricot, tomate, pomme de terre...) de jouer sur les dates de semis... (Guyot, 1999).

### **V.3. Etude climatique**

#### **V.3.1. Le climat**

Le climat est donc l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée intégrée dans le long terme. Traduit l'aspect de temps dans une période plus ou moins longue et dans un lieu bien défini. On peut également expliquer ce concept en tant qu'un ensemble ordonné des états de l'atmosphère et de leur interactions avec la surface terrestre sur une échelle spatio-temporelle bien décrite. Selon l'Organisation Mondiale de Météorologie (OMM) le climat est un ensemble d'éléments météorologiques pris sur une période donnée qui concourent à donner caractère et individualité météorologiques. La nature des climats joue un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes continentaux. Il existe en effet une interaction entre climats, structure des communautés en particulier végétales et nature des sols (Ramade, 2008).

**V.3.1.1. Principaux types de climats :** il existe un grand nombre de types climatiques à la surface des continents. On distingue en première approximation :

- **Climats équatoriaux :** marqués par la régularité des températures et l'abondance des précipitations, avec une brève saison sèche ;
- **Climats tropicaux de mousson :** où l'alternance entre saison sèche et saison des pluies est marquée ;
- **Climats désertiques :** où les précipitations sont occasionnelles et peuvent faire totalement défaut pendant plusieurs années.
- **Climats méditerranéens :** tempérés chauds, où existe une période d'aridité estivale plus ou moins prolongée ;
- **Climats tempérés humides :** qui concernent les façades maritimes des continents aux moyennes latitudes.
- **Climats continentaux :** où les fortes températures de l'été contrastent avec des périodes de gel intense et prolongent pendant l'hiver.
- **Climats subarctiques :** où les températures moyennes mensuelles sont inférieures à 0°C, à l'exception d'un ou deux mois d'été.
- **Climats polaires :** où il gèle en permanence (Ramade, 2008).

#### **V.3.2. Les climats de montagnes**

Les effets climatiques du relief terrestre doivent être étudiés à deux échelles : échelle synoptique et échelle régionale.

### V.3.2.1 Relief et climat

#### a) L'échelle synoptique

Les températures en montagne sont plus faibles qu'en atmosphère libre, car le relief provoque une déformation vers le bas des surfaces isothermes. Les mécanismes que l'on peut invoquer sont :

- la radiation solaire, par air très calme, et de jour.
- une remontée lente de masses d'air chaudes et humides (Péguy, 1970).

#### b) L'échelle régionale

A l'échelle régionale, les climats de montagnes doivent être analysés comme résultant de deux facteurs : l'altitude et le relief (exposition et pente) (Péguy, 1970). Le climat de la région de la wilaya de Khenchela reflète fort bien les caractéristiques du climat méditerranéen caractérisé par deux grandes saisons :

**1. Une saison hivernale**, peu rigoureuse et assez pluvieuse, s'étalant de la fin de l'automne, jusqu'au début du printemps ;

**2. Une saison chaude sèche**, qui s'étend sur quatre mois et qui correspond aux mois de l'été. L'étude climatique a été faite à partir de données recueillies de la station météorologique de Khenchela localisée à El Hamma (Tableau 4) et située à une altitude de 983 m s'étendant sur une période de 10 ans de 2007 à 2017.

**Tableau 4** : Les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma 2017

Station	Altitude	Latitude	Longitude
El Hamma	982,5 m	35° 28° N	07° 05° E

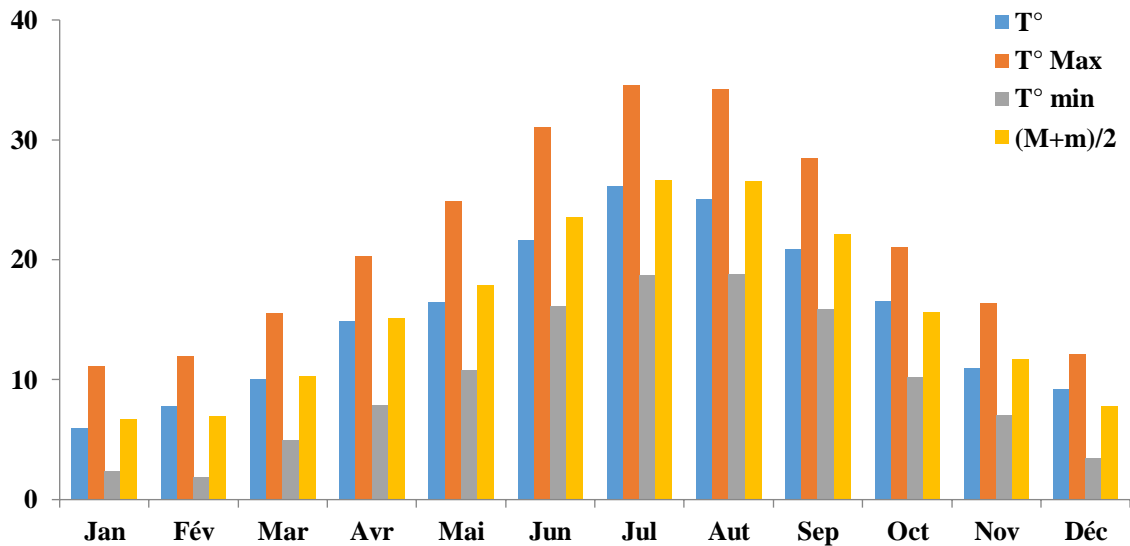
### V.3.2.2. Eléments et facteurs du climat

Ce sont des grandeurs servant à définir un climat que l'on nomme : éléments de climat (Veschambre, 1980). Afin d'identifier les éléments constitutifs du climat retenus dans les études écologiques (précipitations, températures, vents, évaporation, ...), l'étude suppose que la mesure d'un certain nombre de grandeurs climatiques permet de définir les composantes du climat ainsi que l'état de l'atmosphère.

#### a) La température

La température est la grandeur physique à laquelle nous sommes le plus essentiel liés. La notion du temps qu'il fait est intrinsèquement liée au sentiment de chaud et de froid (Delmas,

2012). Elle règle les modalités de la météorisation des roches, notamment par les alternances de gel/dégel, conditionne l'évaporation physique et physiologique (évapotranspiration) et intervient ainsi largement dans le régime des cours d'eau, tout en fixant aux êtres vivants des limites plus ou moins strictes de répartition (Figure 19) (Estienne et Godard, 1970).



**Figure 19 :** Diagramme de température de la période 2011-2020 dans la wilaya de Khenchela (Station Météorologique d'El Hamma, 2021)

### b) Les précipitations

L'élément le plus important pour la détermination du bilan hydrique sont les précipitations, car elles reflètent la circulation des eaux superficielles et souterraines. Le facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des cours d'eaux ainsi que celui des nappes, sont les pluies.

Le Coefficient Pluviométrique est le paramètre qui exprime la variabilité interannuelle des précipitations représentant le rapport entre la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série, à une station donnée. Le CP est très important pour déterminer des années excédentaires et celles déficitaires.

$$CP = P / P_{moy}$$

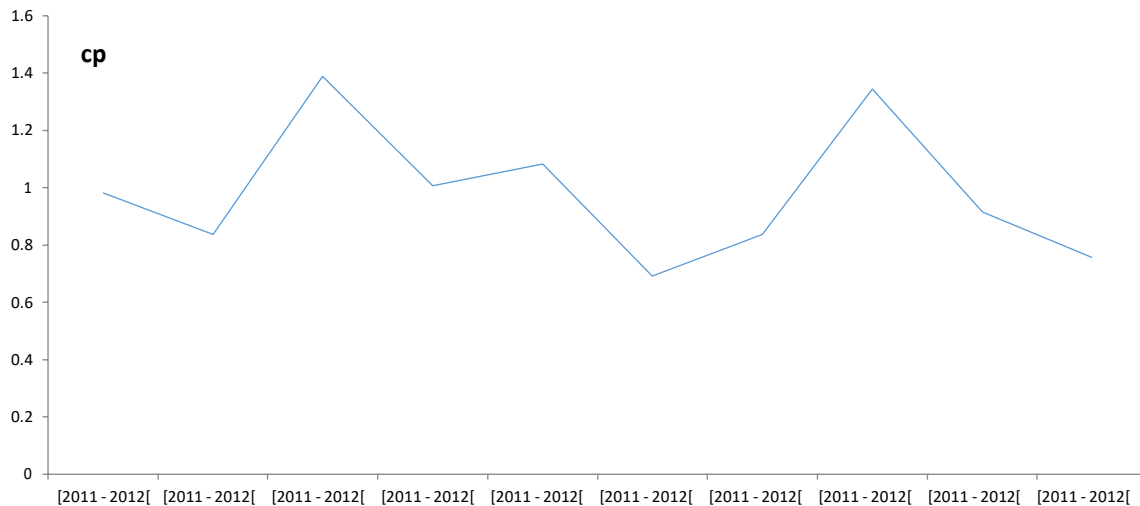
Avec :

- **CP** : Coefficient pluviométrique.
- **P** : Pluviométrie annuelle de l'année en (mm).
- **P<sub>moy</sub>** : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

Ce paramètre est en relation proportionnelle avec la pluviométrie. Nous avons deux cas :

Si  $CP > 1$  année excédentaire et si  $CP < 1$  année déficitaire.

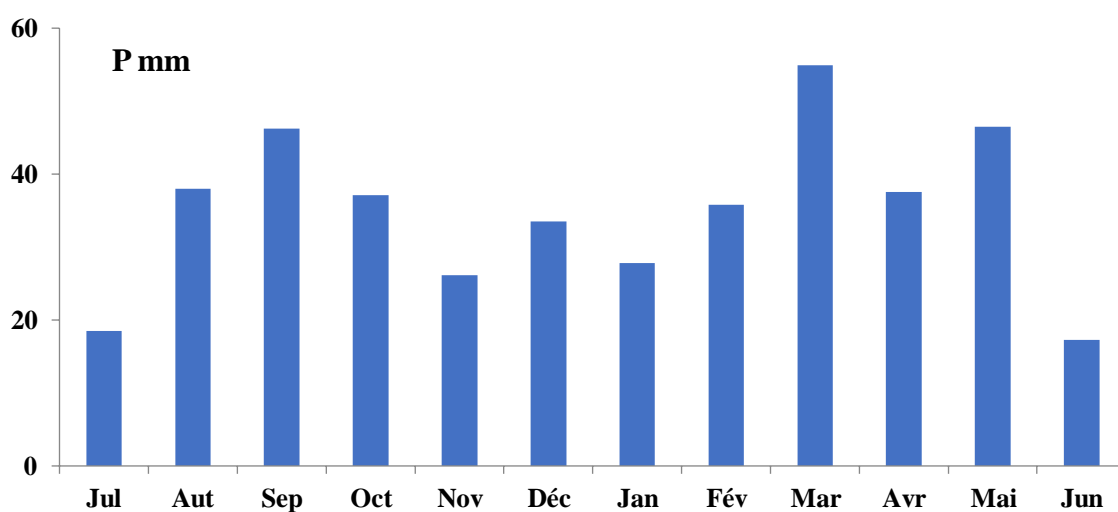
Pour ce cas,  $P_{moy} = 419,29\text{mm}$ , le CP de chaque année par rapport à la série qu'on a prélevé 2007- 2017 est noté dans le graphe suivant (Figure 20) :



**Figure 20 :** Le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série de (Juillet 2011 à Juin 2021) à la station d'El-Hamma

### c) Pluviométrie

C'est un facteur écologique fondamental pour les écosystèmes terrestres car, elle conditionne avec la température leur structure et leur productivité primaire. C'est le volume total des précipitations, pluies, grêle et neige, qui tombent sur une aire géographique et au cours d'une période de temps donnée. Alors que les précipitations sont des formes sous lesquelles l'eau atmosphérique fait retour à la surface de l'écosphère : pluie, neige, grêle, rosée (Ramade, 2008).



**Figure 21 :** Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2011-2021)

Les précipitations moyennes mensuelles de la période (2011-2021) sont de 419,29 mm, où la saison la plus pluvieuse est le printemps avec une moyenne de 138,95 mm ; suivie par l'automne avec 109,46 mm et par la suite l'hiver avec 97,13 mm. Mai représente le mois le plus pluvieux, avec une moyenne de 74,09 mm et juin avec 17,26 mm représente le mois le plus sec (Figure 21).

- **La neige**

La formation de la neige, liée à une condensation progressive en milieu froid requiert à la fois une forte humidité et des températures assez basses au sol du moins au niveau des nuages et de l'air sous-jacent. Il est bien connu que les chutes de neige les plus abondantes s'effectuent d'ordinaire quand la température est au voisinage du 0° ou en dessus (Estienne, 1970).

- **La grêle**

Ce sont des précipitations caractérisées par l'agglomération de cristaux de glace autour d'un noyau de condensation pouvant atteindre plusieurs centimètres de diamètre dans des cas extrêmes (Ramade, 2008).

### **V.3.2.3. Evaporation**

C'est le phénomène par lequel l'eau apportée à un sol dépourvu de végétation s'évapore dans l'atmosphère. Elle est maximale dans les déserts (Ramade, 2008). La vapeur est fournie à la fois :

- Par l'évaporation physique au-dessus des océans et des mers, accessoirement au-dessus des lacs, des cours d'eau et des sols humides.
- Par l'évapotranspiration physiologique du couvert végétal.

Parmi les facteurs qui règlent l'évaporation, il faut retenir en premier lieu la température et la radiation solaire directe (Estienne et Godard, 1970).

### **V.3.2.4 Evapotranspiration**

Le terme évapotranspiration englobe l'évaporation et la transpiration des plantes (Estienne et Godard, 1970). On distingue :

#### **a. Evapotranspiration potentielle (ETP)**

C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal

sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné.

L'ETP est calculée par la formule de Thornthwaite en 1954, qui utilise la température de l'air et la latitude de la station, et qui est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 16 (10 t / I) a. k$$

Avec :

- $a=0,016I+0,5$  ;  $I=\sum i$  ;  $i=(t/5)^{1,514}$ .
- **ETP** : Evapotranspiration potentielle mensuelle en (mm).
- **t** : Température moyenne mensuelle en (°C).
- **i** : Indice thermique mensuel.
- **I** : La somme des indices mensuels de l'année.
- **K** : Facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température.

#### **b. Evapotranspiration réelle (ETR)**

Elle correspond à la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique. L'ETR peut être déterminé par :

$$ETR=P / (0,9+P^2 / L^2)^{1/2}$$

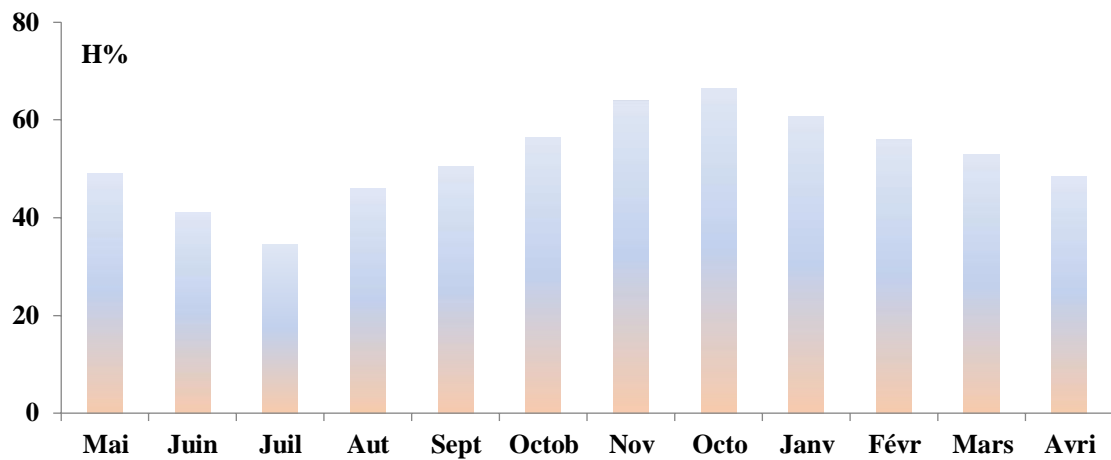
Avec :

- **ETR** : Evapotranspiration réelle en mm,
- **P** : Précipitation moyenne annuelle en mm,
- **L** : Pouvoir évaporant, une limite vers laquelle tend l'ETR lorsqu'elle devient grande :  
 $L = 300 + 25t + 0.05 t^3$ , où t est la température moyenne annuelle en C°.

#### **V.3.2.5. L'humidité**

C'est la masse de vapeur d'eau contenue dans une unité de volume d'air (Estienne et Godard, 1970). L'humidité joue un rôle important dans le confort ressenti par l'organisme qui y est soumis. Alors que l'humidité relative s'exprime en pourcentage. 100 % correspond à un air saturé en vapeur d'eau avec risque de nuage, pluie, brouillard, rosée ou givre, 0 % à un air parfaitement sec (valeur d'humidité relative jamais atteinte dans la nature, pas même dans les déserts) (Delams, 2012).

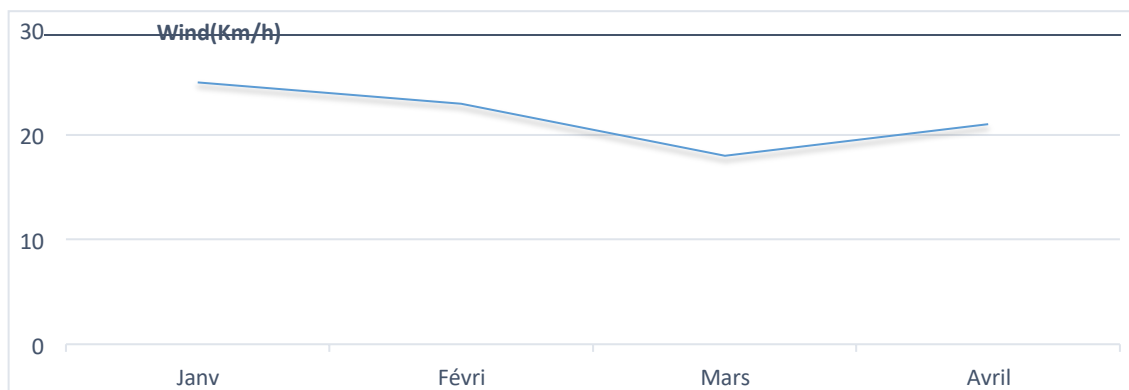
L'humidité relative est le rapport exprimé en pourcentage de la tension de vapeur à la tension maximale correspondant à la température mesurée au thermomètre sec. Elle est mesurée à l'aide d'un psychromètre trois fois dans une seule journée (Figure 22).



**Figure 22** : Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période 2011-2021.

### V.3.2.6. Le vent

Le vent est le résultat de la différence de pression entre deux zones voisines. Il provoque le déplacement des masses d'air et transporte ainsi les caractères climatiques (Figure 23) (El Khatri, 2003).



**Figure 23** : Graphe des moyennes des vitesses maximales instantanées des vents de la période janvier à avril 2021 (km/h) (station météorologique d'El Hamma)

Durant la première moitié de l'année 2021, les vents ont soufflé tellement fort, que l'année en cours soit classée la plus ventée depuis une décennie, surtout pendant le mois de janvier.

### V.3.3. Les indices climatiques

Les indices permettent le rapprochement ou la comparaison de deux éléments climatiques importants. Le complexe chaleur-eau peut être caractérisé par l'indice de sécheresse définie

comme le rapport du pouvoir humidifiant (précipitation) au pouvoir desséchant (évaporation). Sur cette base, quelques indices sont souvent utilisés (Ramade, 2008) :

### V.3.3.1. Indice d'aridité de De MARTONNE

Mesure le degré d'aridité d'un climat. Il tient compte de la valeur des précipitations observées et de l'évapotranspiration potentielle dans un biotope semi-aride ou désertique (Ramade, 2008).

$$I_a = P / (T + 10)$$

Avec :

- **I<sub>a</sub>** : indice d'aridité
- **P** : précipitations moyennes annuelles (mm).
- **T** : températures moyennes annuelles (°C).

Les valeurs de l'indice permettent de déterminer le climat selon le classement suivant :

Quand

- **I < 5** : le climat est hyperaride.
- **5 < I < 7.5** : le climat est désertique.
- **7.5 < I < 10** : le climat est steppique.
- **10 < I < 20** : le climat est semi-aride.
- **20 < I < 30** : le climat est tempéré.
- **I > 30** : le climat est humide.

Pour notre station météorologique d'EL Hamma :

**P** (mm) [Juillet 2011-Juin 2021] = 419,29

**T**° = 17,99

**I<sub>a</sub>** = 419,29 / (17,99 + 10) = 14,98

**I = 14,98 < 20** ; Donc le climat est semi-aride.

### V.3.3.2. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS

La sécheresse n'est pas nécessairement l'absence totale des pluies, mais elle se manifeste quand les faibles précipitations se conjuguent avec les fortes chaleurs. Il considère comme mois sec celui où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètres, est égal ou inférieur au double de la température moyenne exprimée en degré Celsius. (Gausсен, 1953).

#### a) **P < 2T (indice de Gausсен)**

De cela, le graphique des courbes ombrothermiques (Figure 24) comportera les précipitations

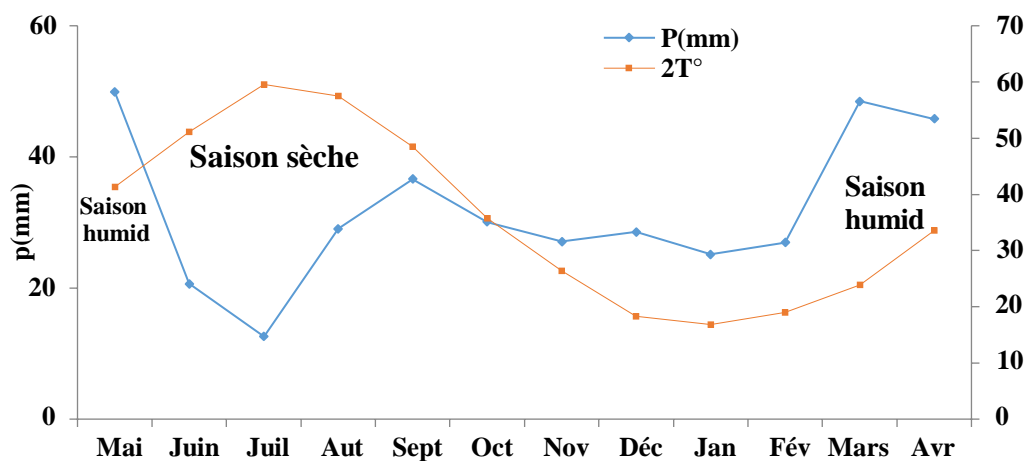
mensuelles (P) et les températures moyennes mensuelles (T). Les deux échelles (P) et (T) sont telles que  $1^{\circ}\text{C} = 2 \text{ mm}$

Les précipitations (p) et les températures (T), où la pluviosité est égale au double de la température.

$$P (\text{mm}) = 2 T (^{\circ}\text{C})$$

La saison sèche s'étale entre les deux interactions des deux courbes p et T. L'interaction des deux courbes p et T permet de définir selon (Soltner, 1984)

- La période sèche lorsque  $p < 2T$ .
- La période humide lorsque  $p > 2T$ .



**Figure 24 :** Diagramme ombrothermique de Gaussen de la zone d'étude (2011-2021).

Le diagramme ombrothermique de Gaussen illustre que la saison sèche de la zone d'étude s'étend à environ 157 jours (du 28 Mai au 5 Novembre).

### V.3.3.3. Quotient et climagramme pluviométrique d'Emberger

Selon Emberger, il est possible de subdiviser chaque région, suivant les diverses nuances climatiques, en un certain nombre de territoires climatiques. Chacun d'eux constitue ce que l'on appelle un étage climatique. Il propose en 1932, une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuelle en tenant compte des précipitations et de la température, cette formule peut s'écrire de la manière suivante :

$$Q_2 = 1000P / [(M+m) / 2 (M+m)]$$

$$\text{Soit : } Q_2 = 1000 P / (M_2 - m_2) = [1000 (M + m) / 2 \times 273] \times [P / (M+m)]$$

Ce quotient est par la suite simplifié par Stewart (1969) comme suite :

$$Q_2 = 3,42 [P/ (M-m)]$$

Avec

- **P** : hauteur des précipitations moyennes annuelles en mm
- **M** : moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C).
- **m** : moyenne des minima du mois le plus froid (°C).
- **Q<sub>2</sub>** : quotient pluviométrique annuel en mm
- **M-m** : amplitude thermique extrême moyenne.

Dans le cas de ce travail :

**P** = 419,29 mm ; **M** = 33,29 °C ; **m** = 2,59 °C ; Donc **Q<sub>2</sub>** = 46,71 mm

En utilisant ce climagramme avec la valeur obtenu **Q<sub>2</sub>** = 46,71 mm, **m** = 3.42 °C, on trouve que la zone d'étude est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Figure 25).

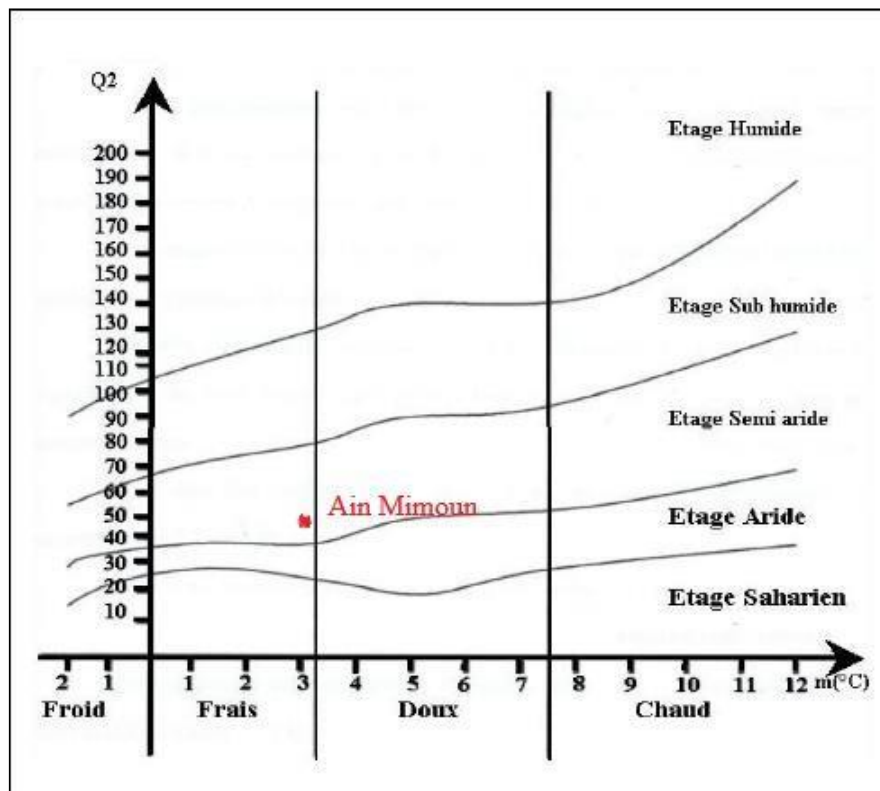
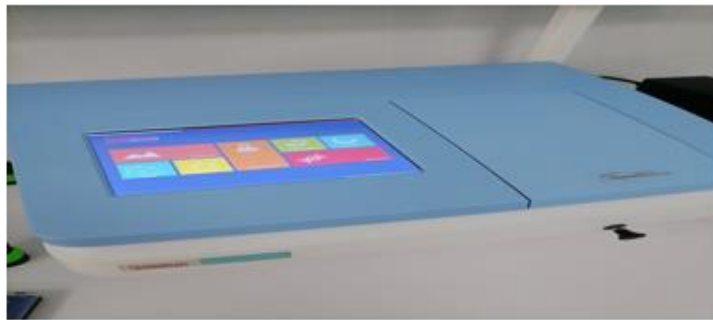


Figure 25 : Climagramme d'Emberger de la zone d'étude

## **Matériels et méthodes**

- **Méthodes expérimentales et Description des Essais**

### **Chapitre VI**



### **Matériels et méthodes**

## Chapitre VI

### Matériels et méthodes

L'étude a porté sur l'utilisation d'une espèce pérenne pour évaluer la réponse bioclimatique ou la réaction de la chlorophylle face à une pollution atmosphérique induite par une usine de transformation de la baryte dans la localité d'Ain Mimoune. Pour cela, nous avons recensé un ensemble d'arbres et retenus une essence largement connue comme espèce noble des Aurès et remarquable par sa présence : le chêne vert (*Quercus ilex*), ce choix est lié au problème de dépérissement qui touche cette espèce, d'importance économique et surtout écologique.

Dans ce travail, nous avons utilisé les feuilles du chêne vert, lieu de synthèse des pigments et du processus de photosynthèse, pour réaliser l'objectif de cette expérimentation.

#### VI.1. La justification de choix de site

Plusieurs sites ont été répertoriés pour effectuer des prélèvements suite à un multiple parcours sur terrains et qui sont portés sur la carte (Figure 27). Les échantillons sont alors prélevés au niveau de trois stations à Ain-Mimoun, une en aval de l'usine, une autre à proximité de la source de pollution et une troisième en amont, Boussenane. Les différentes stations de prélèvements choisies dans ce travail ont fait l'objet d'une minutieuse reconnaissance de l'impact des rejets de l'usine sur les espèces dominantes dans les stations avoisinantes. Ces stations se situent dans des régions différentes les unes des autres, que ce soit sur le plan géographique ou topographique. In visu et in situ, la fumée de l'usine de transformation de baryte est dispersée dans l'atmosphère de la région, sachant que la réduction dans des pigments chlorophylliens (a, b) des plantes dans des endroits très pollués et peu pollués donne une indication sur l'effet examiné par la pollution sur la photosynthèse et donc sur la concentration des pigments.

##### VI.1.1. Matériels utilisés dans le choix des sites de prélèvements

###### VI.1.1.1. Le GPS

Le GPS (Global Positioning System) est utilisée pour situer géographiquement l'ensemble des sites préconisés pour le prélèvement des échantillons du matériel végétal dans les deux techniques aussi bien pour le dosage de la chlorophylle que pour le lavage des feuilles.

Le système américain de positionnement par satellite est dans la mesure de donner n'importe où sur le globe, de jour comme de nuit, avec précision, en temps réel :

- la position (x y)
- L'altitude (z)
- L'heure
- La vitesse
- L'orientation.

### VI.1.1.2. Les applications du GPS

#### a. GPS essentiels

L'application GPS essentiels renseigne sur les données de l'emplacement de son utilisateur. Elle fournit aussi des informations concernant la vitesse, l'altitude, la distance parcourue et la direction de celui-ci. Elle se montre très pratique pour retrouver les coordonnées d'un endroit précis et enregistrer des déplacements dans son historique. GPS Essentials est capable d'offrir une représentation de la position de son utilisateur sur une carte (Figure 26).

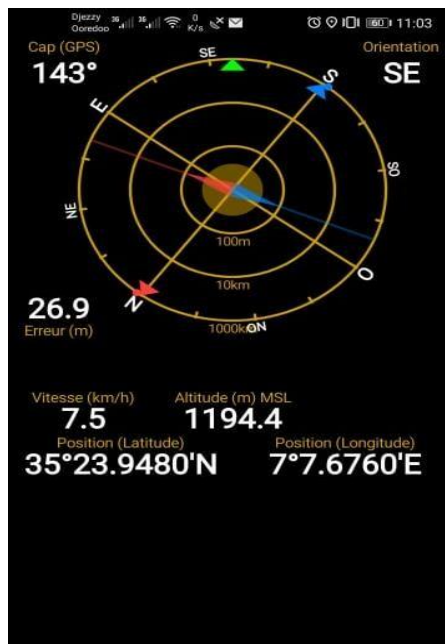


Figure 26 : GPS de téléphone

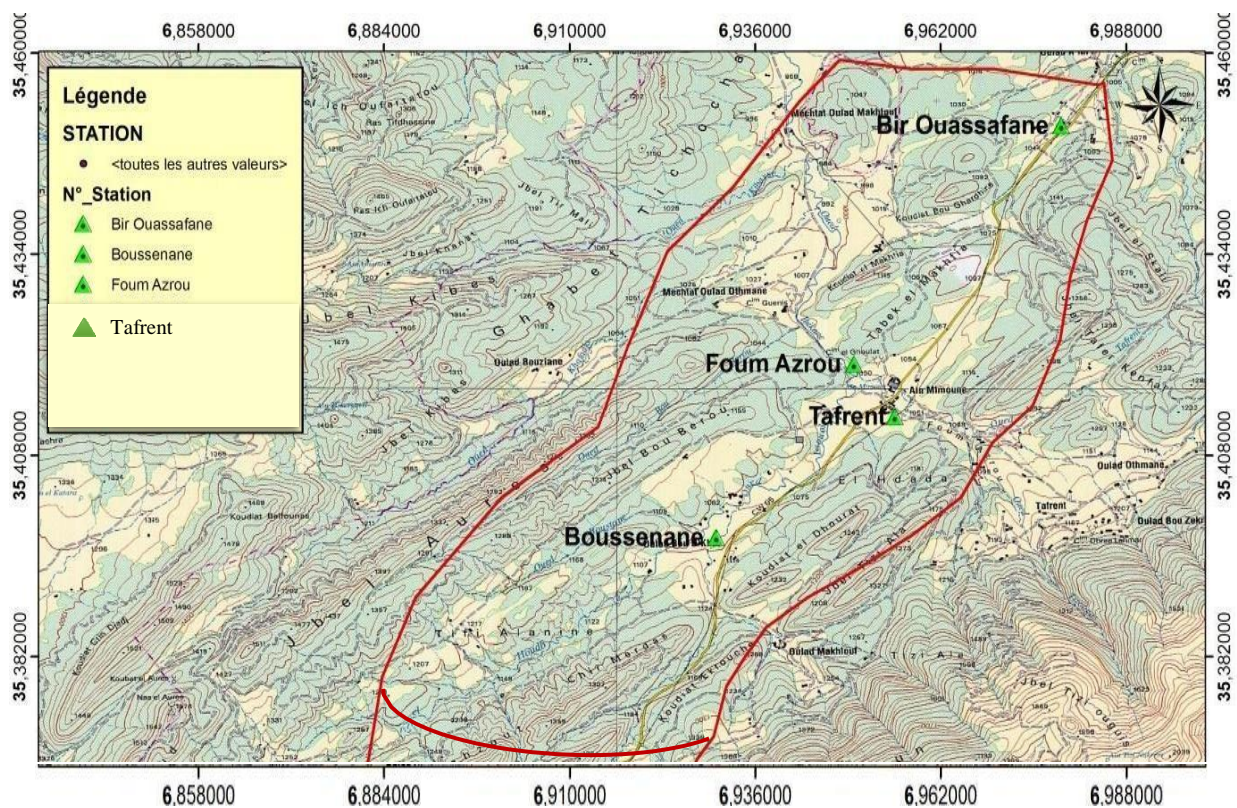
### VI.2. Situation géographique des stations de prélèvements

Les sites portés sur la carte de la (Figure 27) sont situés dans la localité d'Ain Mimoun, qui constitue une localité de la Daïra d'El-Hamma, Wilaya de Khenchela. Leurs environnements sont plus ou moins contrastés selon la proximité de la source de fumée.

**VI.2.1. Station 1** : Située à Bir Oussefane, elle fait partie de la série N°07 de Ras Tafer, son altitude varie entre 990 et 1100 m, limitée par Ras mazla à l'Est, Ras Losmàa à l'Ouest, Oued Mazgattou au Nord et au Sud par Ferkha. Ses coordonnées sont déterminées dans le tableau 5 Cette station est située en aval de la source de pollution, à environ 5 km de l'usine, et est caractérisée par une vaste Pinède.

**Tableau 5** : Coordonnées géographiques de la station S1.

Site	Bir Oussefane		
	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)
<b>Station 1</b>	35°27'02 ,37 ''	6°58'43,65''	1028



**Figure 27** : Localisation des stations de prélèvements dans la zone d'étude

**VI.2.2. Station 2 : Bousenane**

Située à Bousenane, en amont de la source de pollution, appartenant à la série N° 6 de Djebel Feraoune, son altitude varie entre 1100 et 1115 m, ses coordonnées sont figurées dans le tableau 6.

**Tableau 6** : Coordonnées géographiques de la station S2

Site	Boussenane		
	Latitude (N)	Longitude E	Altitude (m)
<b>Station 2</b>	35°23'50.95''	6°55'50.23''	1075

La station 2 est limitée comme suit :

A l'Est par Tizi Alla, à l'Ouest par Azmen, Oued Issouey au Nord et au Sud par Ighrass. La distance la séparant de l'usine de baryte est de 2,5 Km et la direction de vent violent est de l'Ouest vers l'Est. Elle est soumise à la poussière provenant de l'exploitation des gisements de baryte et également à la transmission de fumée par le vent. Ces coordonnées géographiques sont affichées dans le tableau 7.

### VI.2.3. Station 3 E1 :

Située à Tafrent, à proximité de l'usine de transformation du minerai de baryte, dans la série N°09, à proximité de la forêt, entre 1050 et 1150 m d'altitude. Ces coordonnées géographiques sont mentionnées dans le tableau 7.

**Tableau 7** : Coordonnées géographiques de la station 3 E1

Site	Tafrent		
	Latitude (N)	Longitude E	Altitude (m)
<b>Station 3 E1</b>	35°24'47.00''	6°57'19.81''	1063

La station 2 est limitée par Kef Labyadh à l'Est, série N °7 à l'Ouest, Tizi Alla au sud et une partie Est de série N °7 au Nord. Cette station située à environ 1 Km de l'usine, comporte des filons ce qui explique qu'elle soit soumise à la poussière provenant de l'exploitation des gisements de baryte et également à la transmission des fumées par les vents, sans oublier l'opération d'abattage pour le trafic routier.

**VI.2.4. Station 3 E2** : Localisée à Foum Azrou, dans la série N °7 Ras Tafer, son altitude varie entre 1000 et 1070 m, elle est limitée par Ras Akelkoul à l'Est, Tafrent au Sud, l'usine de baryte à l'Ouest et l'agglomération et habitats de la zone d'Ain Mimoun au Nord.

Localisée à la proximité d'usine. Ces coordonnées géographiques sont mentionnées dans le tableau 8.

**Tableau 8** : Coordonnées géographiques de la station 3 E2.

Site	Foum Azrou		
	Latitude (N)	Longitude E	Altitude (m)
<b>Station 3 E2</b>	35°25'11.32''	6°56'59.15''	1050

### VI.3. Mode d'échantillonnage

Les prélèvements sont réalisés au niveau des trois stations selon l'échantillonnage aléatoire simple (un échantillonnage dans chaque station et de chacune deux répétitions sont réalisées). Dans la partie médiane de l'arbre (Figure 28-30), puis conservées dans des sacs en plastique noir fermés hermétiquement à l'abri de la lumière, pour éviter l'oxydation immédiate de la chlorophylle, pour une meilleure représentativité des résultats.



**Figure 28** : Aspect d'un arbre utilisé dans le prélèvement des échantillons de *Quercus ilex* L Station S1. au cours d'une sortie sur terrain..



**Figure 29** : Aspect d'un arbre utilisé dans le prélèvement des échantillons de *Quercus ilex* L.  
Station S2, au cours d'une sortie sur terrain.



**Figure 30** : Aspect d'un arbre utilisé dans le prélèvement des échantillons de *Quercus ilex* L.  
Station S3 (E1 E2). au cours d'une sortie sur terrain.

### **VI.3.1. Paramètres mesurés**

L'objectif de ce modeste travail est de montrer l'importance de la végétation en milieu industriel en captant le maximum de particules atmosphériques, dont la source d'émission est l'unité de transformation de la barytine, de voir si cette accumulation a un effet sur l'activité physiologique du végétale dans l'espace, en mesurant le paramètre chlorophylle et faire une analogie avec les quantités de poussières collectées et déposées sur les mêmes échantillons.

#### **VI.3.1.1. Dosage de la chlorophylle**

L'acclimatation des plantes aux polluants atmosphériques peut modifier leur structure morphologique comme des cellules épidermiques plus épaisses et des trichomes plus longs (Rangkuti, 2003). Une fois déposés à la surface des feuilles, certains éléments peuvent être absorbés dans le système foliaire via les stomates (Reimann et al., 2001) affectant le développement global de la plante et réduisant la résistance des plantes à la sécheresse, au gel, aux insectes et aux champignons (Shanker et al., 2005).

La mesure de la chlorophylle est un outil important pour évaluer l'effet des polluants atmosphériques sur les plantes car elle joue un rôle important dans leur métabolisme.

La teneur en chlorophylle est le critère le plus utilisé pour quantifier l'état général de la plante. C'est un excellent bioindicateur de la pollution et du stress (Landis and Yu, 1995).

#### **VI.3.1.2. Le principe de la méthode de Witham et al., 1970**

La chlorophylle est extraite suivant la méthode de (Witham et al., 1970) qui consiste à :

- couper les feuilles en petits morceaux
- en peser 0.100 g en utilisant une balance de précision
- les placer dans des boîtes noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière).
- laisser macérer dans un mélange d'acétone et d'éthanol (75 % et 25 %), pour les 03 répétitions, pendant 48 heures.
- procéder à la lecture des densités optiques des solutions à l'aide d'un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes, 645 nm pour la chlorophylle a et 663 nm pour la chlorophylle b), après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone-éthanol (Figure 33).



**Figure 31** : Mode opératoire et dosage des chlorophylles.

**A. La balance** : la balance est un instrument de mesure qui est utilisée pour peser la masse des morceaux (Figure 32).



**Figure 32** : La balance de précision utilisée au laboratoire.

## B. Spectrophotométrie "domaine UV/visible"

**B.1. Définition** La spectroscopie d'absorption dans l'UV-visible est une méthode très commune dans les laboratoires. Elle est basée sur la propriété des molécules d'absorber des radiations lumineuses d'une longueur d'onde déterminée (Figure 33).



**Figure 33** : Spectrophotomètre UV/visible (SP-UV 2005) utilisé

### B.2. Principe de la Spectrophotométrie UV/visible

Dans une molécule, les transitions électroniques UV-visibles mettent en jeu les énergies les plus importantes de la chimie (de  $13000$  à  $50000\text{ cm}^{-1}$  soit  $160$  à  $665\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ). L'ordre de grandeur des énergies mises en jeu est celui des énergies de liaison des molécules et ces rayonnements peuvent parfois provoquer des ruptures de liaisons. Plus généralement, ils provoquent des transitions électroniques entre les différents niveaux d'énergie des molécules.

### B.3. Applications de la spectroscopie UV-Visible

**a. Analyse qualitative** : Les spectres UV fournissent généralement peu de renseignements sur la structure moléculaire des composés comparés aux spectres IR. Néanmoins, on les utilise soit pour une confirmation soit pour une identification grâce aux règles empiriques.

**b. Analyse quantitative** : L'analyse quantitative par la spectrométrie UV-visible est très employée (beaucoup plus que l'analyse qualitative) grâce à l'utilisation de la loi de Beer Lambert.

Comme applications, on peut citer :

- Dosage du fer dans l'eau ou dans un médicament ;
- Dosage des molécules actives dans une préparation pharmaceutique ;
- Dosage des chlorophylles.

**c. Autres applications :** D'autres applications sont connues pour :

- Contrôle de Qualité ou le suivi de la cinétique d'une réaction ;
- détermination des constantes de dissociation des acides ou des constantes de complexation.
- La détermination des masses molaires.

Les teneurs en chlorophylles sont déterminées selon les formules suivantes :

$$\text{CH a (mg/100mgMF)} = 12.7 \text{ DO (663)} - 2.59 \text{ DO (645)} \times V / (1000 \times W).$$

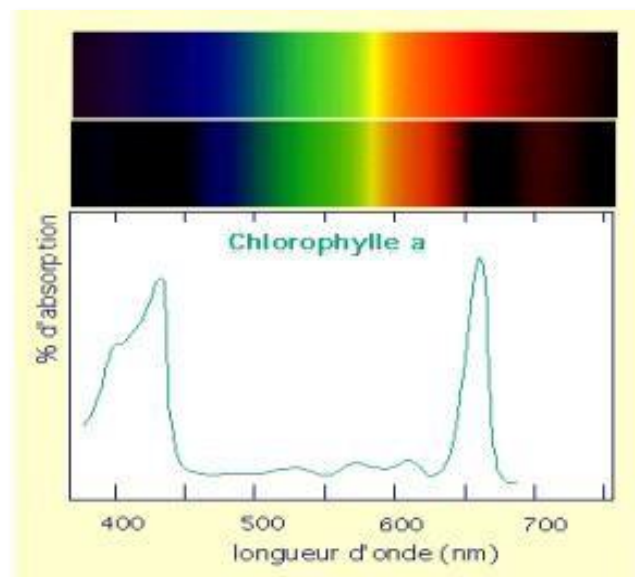
$$\text{CH b (mg/100mgMF)} = 22.9 \text{ DO (645)} - 4.68 \text{ DO (663)} \times V / (1000 \times W).$$

$$\text{CH total (mg/100mgMF)} = 20,2 \text{ DO (645)} - 8,02 \text{ DO (663)} \times V / (1000 \times W).$$

Avec : V : Volume de la solution extraite (10 ml).

W : Poids de matière fraîche utilisée de l'échantillon qui est de 100 mg.

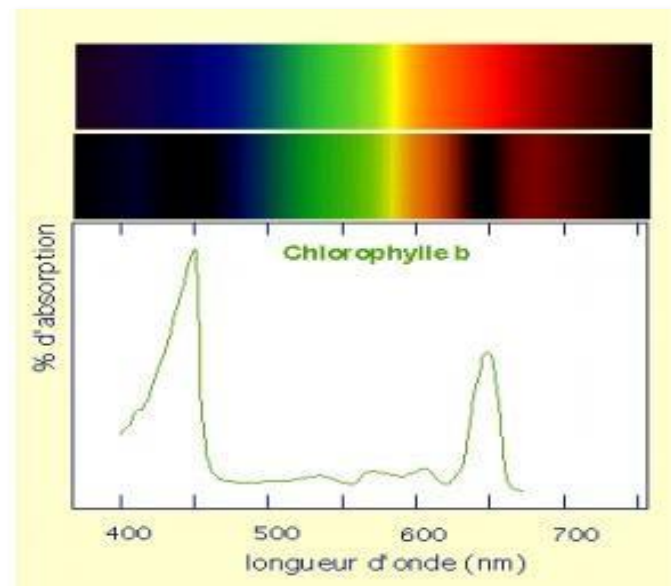
Les chlorophylles a et b absorbent diverses radiations lumineuses, avec des pics dans le rouge (environ 650 nm) et dans le bleu (vers 450 nm) (Figure 34).



**Figure 34 :** Spectre d'absorption de la chlorophylle a.

Plusieurs molécules de chlorophylle a sont groupées en polymères, caractérisés chacune par un maximum d'absorption d'une radiation rouge : 680 ou 700 nm pour les chlorophylles a des

photosystèmes (respectivement P680 et P700). La chlorophylle b absorbe fortement à 445 nm (dans le bleu) et 645 nm (dans le rouge) (Figure 35).



**Figure 35** : Spectres d'absorption des chlorophylles b.

### **VI.3.1.3. Analyse statistique**

Le progiciel Excel de Microsoft est utilisé dans ce travail et a permis de mettre au point tous les calculs de moyennes et d'écart type, ainsi que l'élaboration des histogrammes et des courbes aussi bien dans le chapitre relatif à la partie zone d'étude, que celui relatif à l'étude climatique, que dans le chapitre résultats.

Pour la création et la limitation de la carte de la Zone d'étude, nous avons utilisé le logiciel d'Arc GIS pour préciser les coordonnées des stations avec les différentes concentrations de chlorophylles au niveau de chaque site de prélèvements.

### **VI.3.2. Technique de lavage des Feuilles**

#### **VI.3.2.1. Mode d'échantillonnage**

Les prélèvements sont faits sur des haies bordant des routes à densité de trafic routier moyenne à forte pendant le jour au niveau des stations S1, S3, très faible à nulle au niveau de la station S2 (considérée comme station témoin).

Les feuilles sont prélevées minutieusement, deux semaines après les dernières pluies, pour les analyses physiques (Harrison et al., 1981)] dans la partie médiane de l'arbre, puis

conservées dans des sacs en plastique bien fermés pour éviter la dispersion des poussières. Les essais d'évaluation des paramètres biochimiques sont réalisés sur les feuilles d'un échantillon prélevé au même niveau du même arbre en même temps. Les feuilles utilisées pour lavage sont conservées, après traitements pour l'estimation ultérieure des surfaces foliaires.

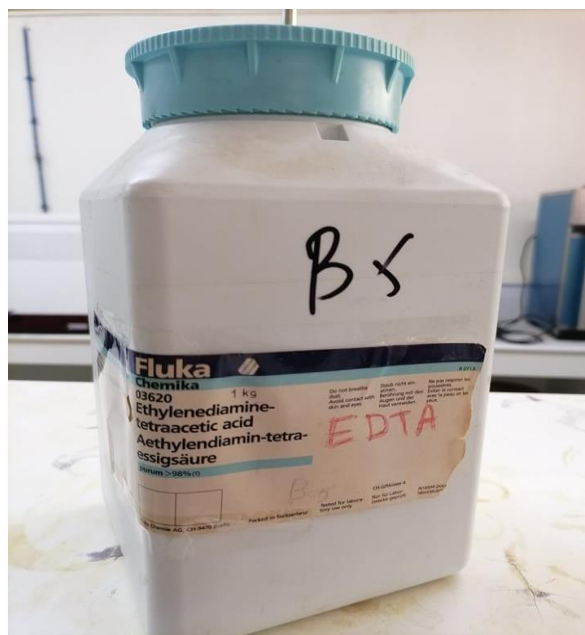
### VI.3.2.2. Lavage des feuilles en vue d'estimer les dépôts de particules

Les techniques de lavage des feuilles s'insèrent dans l'étude du pouvoir de fixation-rétention des poussières par les plantes et sont indispensables pour le dosage d'éléments structuraux. Afin de mesurer l'importance des dépôts superficiels, on a recours à différentes techniques de lavage telle que celle de Stenbock-Farmer (1978).

**Remarque :** Il nous est intéressant de rappeler que cette méthode de lavage des feuilles et de quantification des poussières ainsi que le matériel adéquat, telle que la rampe de filtration, soit utilisé pour la première fois au niveau de notre faculté.

### VI.3.2.3. Choix des solutions de lavage

La littérature suggère l'utilisation de solutions acides. Il nous a semblé intéressant d'estimer l'action d'un sel bi sodique de l'éthylène diamine tétra acétique (EDTA) à 5g/l fréquemment préconisé. L'EDTA (Figure 36), chélateur efficace, est un détergent dont la technique d'utilisation est considérée comme la plus efficace pour l'extraction des poussières (Taylor, 1956 cité par Stenbock-Farmer, 1978).



**Figure 36 :** Ethylène diamine tétra acétique

#### VI.3.2.4. Description des essais

Un essai est réalisé à l'EDTA à 5g/l comme solution de lavage pendant des temps de traitement de 10 minutes.

#### VI.3.2.5. Méthode expérimentale

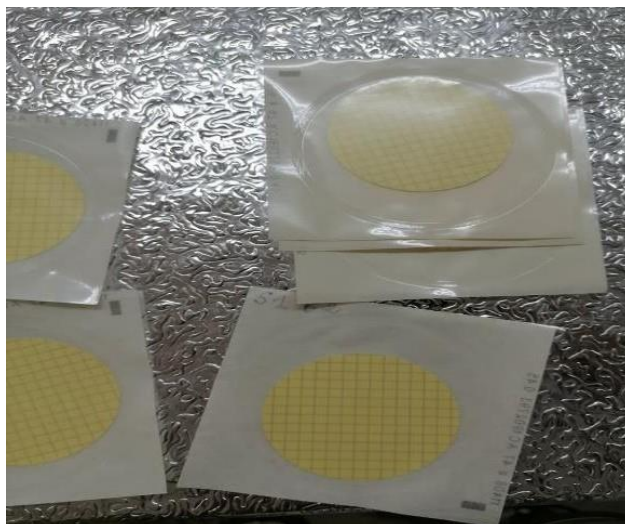
Chaque lot de feuilles est placé dans un Erlenmeyer contenant 100 ml de la solution de lavage, agité sur agitateur magnétique ( $\approx 100$  mvt/min) pendant 10 minutes (Figure 37). Les feuilles sont ensuite enlevées de la solution. Les solutions empoussiérées et les références (solutions agitées sans feuilles) sont filtrées sur filtre Millipore ( $45\mu\text{m}$ ) (Figure 38) préalablement tarés à travers un dispositif de filtration Sartorius (Combisart) (Figure 39).

**A. L'agitateur :** Cet appareil est utilisé pour agiter la solution de lavage avec les feuilles empoussiérées, leur mouvement assure l'agitation du liquide est ensuite transmis à un système mécanique spécifique au modèle afin d'homogénéiser un liquide ou une suspension.



**Figure 37 :** l'agitateur magnétique utilisé dans la manipulation.

**B. Le filtre Millipore ( $45\mu\text{m}$ ) :** ces filtres sont utilisés pour la filtration et l'adsorption des particules de poussières contenues dans la solution de lavage (EDTA + Feuilles), de marque Sartorius.



**Figure 38** : Filtres Millipore avant utilisation (45µm)

### **C. La rampe de filtration (Sartorius)**

**C.1. Définition** : C'est un dispositif de filtration de marque Sartorius, utilisé en laboratoire pour filtrer les solutions de lavage des feuilles, en utilisant des filtres millipores de la même marque. Le filtrat est obtenu sous aspiration par une pompe (Figure 39).



**Figure 39** : La rampe de filtration utilisée (sartorius)

Les Erlen Meyer sont lavés avec 50 ml d'eau distillée que l'on filtre également. Le dispositif de filtration précédent le filtre est aussi rincé avec 50 ml d'eau distillée. Les filtres sont mis à évaporer à 85°C pendant 20 heures dans des boîtes de Pétri, puis placés dans un dessiccateur jusqu'à ce qu'ils atteignent la température ambiante de 20 °C. Les filtres empoussiérés sont pesés de même que les filtres références sur une balance de précision.

## **Chapitre VII**

### **Résultats et discussions**

- **Evaluation des teneurs en chlorophylle**
- **Estimation des quantités de poussières**

## Chapitre VII

### Résultats et discussions

#### VII.1. Evaluation des teneurs en chlorophylle

Au cours de l'opération d'échantillonnage et des essais expérimentaux, il a été observé l'état des plantes, leur apparence, leur variation morphologique ou les dégâts remarquables ont été faite régulièrement. Les effets à retardement des polluants atmosphériques sur les écosystèmes forestiers peuvent persister plusieurs décennies, de sorte que même si les émissions étaient rapidement contrôlées, les forêts ne réagiraient pas pleinement à la purification de l'atmosphère (Nilsson et Sallinas, 1999).



**Figure 40** : Dépôts de poussières blanches sur les feuilles de *Quercus ilex* L.

Dans les stations (S3 E1) Tafrent et (S3 E2) Foug Azrou, des poussières blanches sont observées sur les surfaces foliaires, et sont issues des effluents atmosphériques provenant de l'usine de transformation de la baryte et aussi des poussières désertique ; ces poussières se déposent et adhèrent fortement à la surface foliaire (Figure 40).

Des différences de taille et de couleur des feuilles et du bois de l'espèce étudiée ont été considérées sur les spécimens choisis, près de l'unité de transformation de la baryte en station (S3 E1) et (S3 E2), exposées aux poussières, par rapport à d'autres spécimens se trouvant dans les stations où il n'y pas de dépôts apparents, telles que Bir Ouassfane (S1), Considérée comme station témoin, car elle présente des indices de non-pollution, telle que la couleur vive de la chlorophylle et sa situation en amont de l'industrie, puisque les principaux mouvements dominants des vents sont orientés dans un transect Sud ouest / Nord est.

La majorité des feuilles de *Quercus ilex* L. dans les stations limitrophes de l'usine présentent des taches jaunâtres et brunâtres, pouvant être identifiées comme une altération de la chlorophylle, est certaine et par la même le phénomène de synthèse de la photosynthèse peut être affecté (Figure 41).



**Figure 41** : Aspects de chlorose observés sur les feuilles de *Quercus ilex* L.

La chlorose et la pâleur des parties vertes de la plante (Figure 41), sont la réponse caractéristique de la pollution aux particules. Dans la chlorose, la couleur vert normal disparaît et les feuilles de la plante deviennent vert pâles, jaunes ou même blanches. La nécrose désigne la mort des tissus ou des cellules isolées ou de la plante entière. Les

contraintes de pollution plus douces, qui induisent en premier lieu une chlorose, peuvent finalement tuer la cellule ou la plante (Prusty et al., 2005).

## VII.2. Résultats de l'évaluation des teneurs en chlorophylles

Afin de mieux interpréter les variations de la chlorophylle, nous avons affiché les résultats de l'analyse des chlorophylles après traitement à l'aide du progiciel Excel dans la représentation graphique figurée sous forme d'histogrammes à 2 dimensions.

### VII.2.1. Teneur en chlorophylles (Chl)

Les teneurs en chlorophylle chez *Quercus ilex* L. présentent des fluctuations d'une station à une autre. Les teneurs les plus importantes sont enregistrées au niveau des stations S2 pour l'échantillon E1 et celle S1 pour l'échantillon E1 aussi bien pour la chlorophylle **a** que pour la chlorophylle **b** (Figure 42).

Les résultats montrent que les stations S1 et S2 révèlent les teneurs les plus élevées, alors que l'échantillon E1 de la S3, située à proximité de l'usine de transformation de la baryte, exprime des faibles teneurs en chlorophylles (Figure 42).

Aussi les résultats montrent que dans tous les échantillons la chlorophylle a est toujours supérieure de la chlorophylle b.

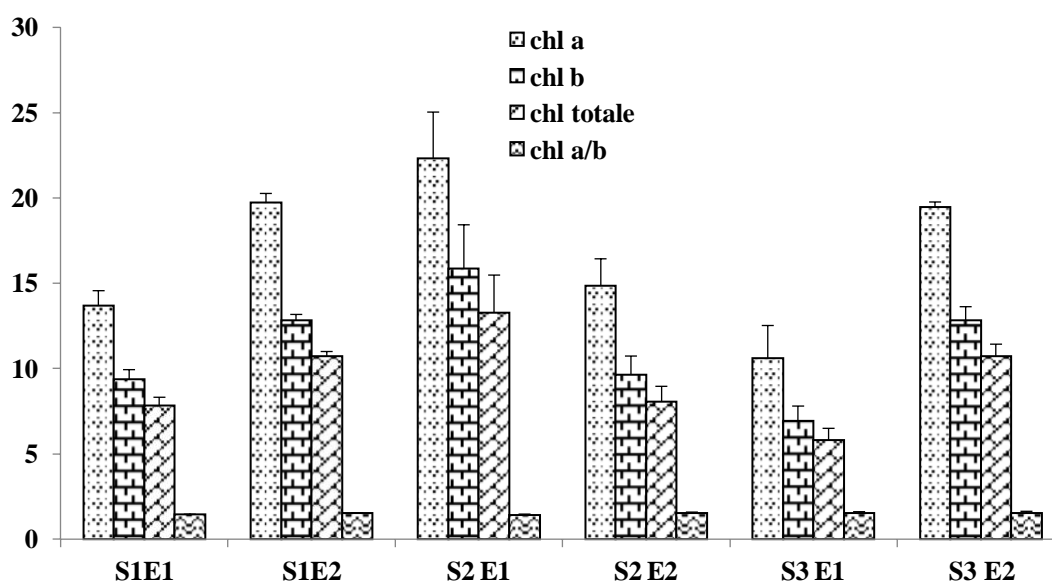


Figure 42 : Teneurs en chlorophylles des échantillons de chêne vert.

Concernant l'échantillon E2 de la station S3, les résultats montrent que la teneur en chlorophylle a et b est élevée par rapport à l'échantillon E1 de la même station, bien que ces échantillons soient également prélevés à proximité de l'unité de transformation de la baryte.

On pourrait expliquer ces résultats par le fait que ces échantillons sont constitués de feuilles jeunes et nouvelles et que la durée de séjour des poussières dessus n'est pas encore importante.

(Agrawal et al., 1991) suggèrent que la détermination des niveaux de chlorophylle totale peut être une bonne indication sur les conditions de pollution de l'air causée par les fumées des industries comme un facteur écologique qui cause la détérioration de la qualité de l'environnement de la végétation.

Nous avons remarqué que les teneurs en chl **a** de l'échantillon E2 de S1 et l'échantillon E1 de S2 présentent les valeurs les plus élevées avec respectivement  $(19,75 \pm 0,51)$  mg/g MF et  $(22,33 \pm 2,70)$  mg/g MF.

Pour la chlorophylle **b**, les résultats montrent des valeurs allant de  $(12,84 \pm 0,33)$  mg/g MF pour l'échantillon E2 de S1 et  $(15,85 \pm 2,75)$  mg/g MF pour l'échantillon E1 de S2 (Figure 42). Les teneurs en chlorophylle **a** étant plus importantes que celles en chlorophylle **b**, ceci pourraient suggérer des indications sur le bon état de santé de l'arbre.

A l'opposé nous observons une baisse de concentration de la chlorophylle **a** au niveau de la station S3, la plus proche de l'usine, avec  $(10,60 \pm 1,92)$  mg/g MF et de chlorophylle **b** avec  $(6,93 \pm 0,86)$  mg/g MF.

### **VII.2.2. Teneurs en chlorophylle totale**

En passant d'une station à une autre, les variations de la chlorophylle totale enregistrées dans ce travail sur le chêne vert suivent les mêmes allures des histogrammes que celles des chlorophylles a et b.

D'après les résultats obtenus et affichés sur la figure 42, on remarque que le rapport Chl a/b, en restant toujours supérieur à **1**, traduit l'adaptation de l'espèce étudiée au climat permanent auquel elle est soumise par rejets des fumées et particules de l'unité et aussi aux poussières

désertiques. Cette forme d'adaptation du chêne vert peut le considérer comme une espèce indicatrice de tolérance.

Nous observons aussi une baisse de concentration de la chlorophylle totale au niveau de la station S3, à proximité de l'usine, avec  $5.78 \pm 0.70$  mg/g MF. Ces mêmes dépôts ont un effet sur la photosynthèse et sur la respiration en colmatant les stomates des feuilles (Laitat, 1990).

Quand les plantes montrent des variations dans leur caractéristiques physiologiques, ceci explique qu'il y a une baisse dans les concentrations des pigments chlorophylliens à cause de la grande pollution dans l'environnement, et les pigments photosynthétiques sont presque les plus endommagés par la pollution de l'air (Giri et al., 2013).

A l'opposé, on enregistre des teneurs élevées aux niveaux des stations **S1 E2** et **S2 E1** avec  $(10.71 \pm 0,27)$  mg/g MF,  $(13,29 \pm 2,18)$  mg/g MF, respectivement.

Donc, on peut traduire les résultats obtenue dans le calcul de la teneur en chlorophylle a/b (chl a/b supérieure à 1) dans toutes les stations par les potentialités et l'adaptabilité du chêne vert. Comme vu dans le chapitre relatif à la monographie du genre *Quercus* ; c'est une espèce très plastique qui s'accommode aux conditions climatiques et édaphiques variées (Sauvage, 1961 ; Quezel, 1979 ; Achhal, 1979).

Beaucoup d'influence relative de la vigueur des plantes et de la qualité de l'environnement délétère que l'inhibition de la croissance des plantes, allant des carences en éléments nutritifs à la pollution anthropogénique, peut entraîner une diminution de la teneur en chlorophylle des feuilles. A son tour, les propriétés optiques des feuilles dans le spectre visible sont fortement dépendantes de la chlorophylle et peuvent donc servir d'indicateurs relatifs de la vigueur de la plante et de la qualité environnementale (Gregory et al., 2002).

La pollution de l'air reste la cause la plus importante qui participe à grande échelle dans la dégradation des pigments photosynthétiques ce qui signifie une réduction de la concentration de la chl a et de chl b ; provoquant ainsi un déclin aperçu dans le développement des arbres qui sont à proximité des sources de pollution.

La pollution atmosphérique constitue aujourd'hui un problème environnemental très complexe à l'échelle locale et planétaire. En effet, la quantification des préjudices de la pollution atmosphérique est possible par des espèces ligneuses où les polluants atmosphériques émis de diverses sources, tels que le trafic routier ou les diverses industries, etc. peuvent se déposer facilement sur leurs surfaces foliaires, et que la teneur en chlorophylles de chaque individu peut être considérée comme un indicateur de la pollution et peut donner les indications sur l'état de santé des plantes.

### **VII.3. Interprétation des résultats de lavage des feuilles**

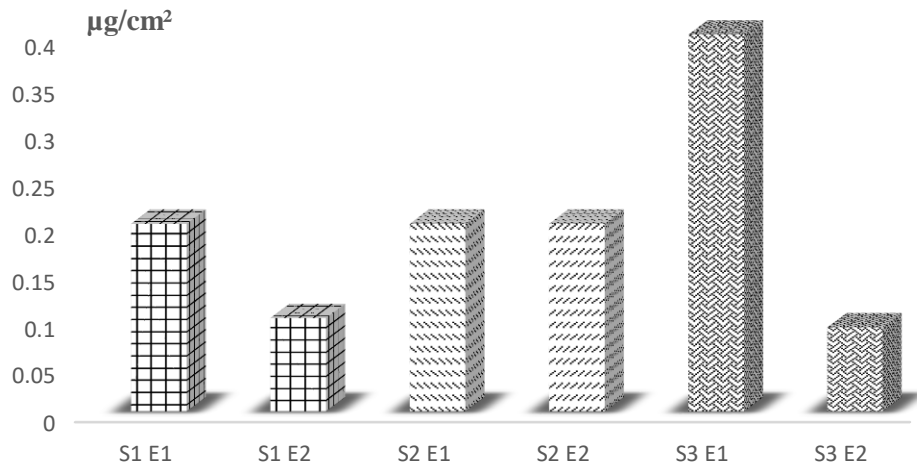
Les feuilles des plantes sont les principaux récepteurs des particules de l'atmosphère. Avant que ces polluants pénètrent dans le tissu foliaire, ils interagissent avec la surface foliaire et modifient la configuration. Les dépôts de poussière sur la surface des feuilles, constitués de particules fines et grossières, ont montré une réduction de la croissance des plantes (Bende et al., 2002) par son effet sur les échanges gazeux des feuilles (Erns, 1982), floraison et reproduction des plantes (Saunders et Godzik 1986), nombre de feuilles et la surface foliaire, l'une des variables les plus courantes dans les analyses de croissance (Lambers et al., 1998). La réduction de la surface foliaire et du nombre de feuilles peut être due à une diminution du taux de prolifération des feuilles et à une augmentation de la sénescence (Seyyednejad et al., 2011).

Les dépôts de poussière affectent également les stomates provoquant son occlusion (Hirano et al., 1995) ; lorsque les particules pénètrent dans la feuille par l'ouverture stomatique, leur toxicité perturbe l'activité physiologique des plantes (Farmer, 1993) comme l'inhibition de la croissance des plantes, le taux de la photosynthèse (Armbrust, 1986), de la floraison tardive et le déséquilibre hormonal (Farooqui et al., 1995). L'inhibition de la photosynthèse nette inhiberait la translocation de l'assimilant et finalement la surface foliaire diminue.

La littérature a révélé que cette fermeture stomatique peut aider à protéger les plantes contre les dommages dus à la pollution (Mansfield et Majernik, 1970). En général, il semble y avoir des concentrations seuils au-dessus desquelles tous les polluants provoquent généralement une fermeture stomatique (Freer-Smith et Taylor, 1992) qui peut être attribuée à des dommages directs à l'appareil stomatique ainsi qu'à celui d'autres tissus foliaires.

### VII.3.1. Interprétation des résultats

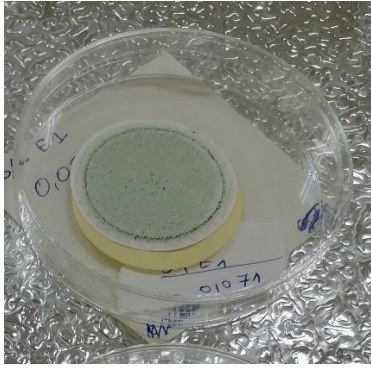
De manière générale, on constate que plus en s'éloigne de l'usine plus le dépôt de poussière sur les feuilles va en diminuant. Et plus on s'en rapproche, les dépôts solides sont importants. L'échantillon **E1** de la station **S3** est le plus empoussiéré car il affiche la quantité la plus importante de dépôts par  $\text{cm}^2$  (Figure 43).



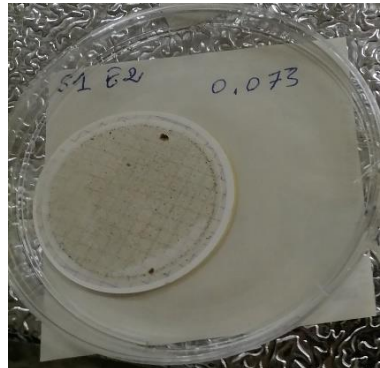
**Figure 43** : diagramme de résultats de lavage des feuilles.

En enregistrant la valeur de  $0,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  de poussières sur les feuilles des échantillons appartenant aux stations de Bir Oussefane S1 et Boussenane S2 [S1E1, S2E1, S2E2] (Figure 43) ; et en excluant de cela l'échantillon E2 de la station S1, où on enregistre  $0,1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  de poussières sur les feuilles, les dépôts sont de traduits par l'importante quantité telle indiquée sur les filtres (Figure 44).

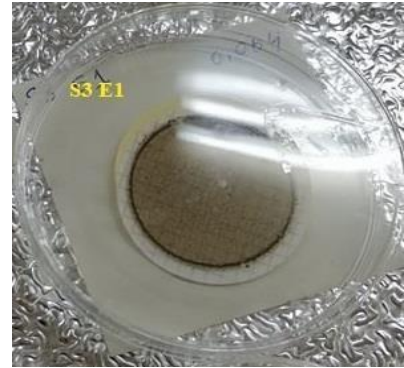
En ce qui concerne les échantillons de la station S3 -à proximité de l'usine- la quantité de poussière collectée sur les feuilles est énorme, principalement pour l'échantillon **E1** de la station **S3** (Figure 44) par apport au **S1 E2** et **S2 E1** (Figure 44-46). Tandis que pour l'échantillon **E2** de la même station, seulement  $0,09 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  est collecté, la cause de cette différence entre les deux valeurs estimées est probablement due à l'état juvénile des feuilles.



**Figure 46** : Filtre millipore empoussiéré de S2 E1.



**Figure 45** : Filtre millipore empoussiéré de S1 E2.

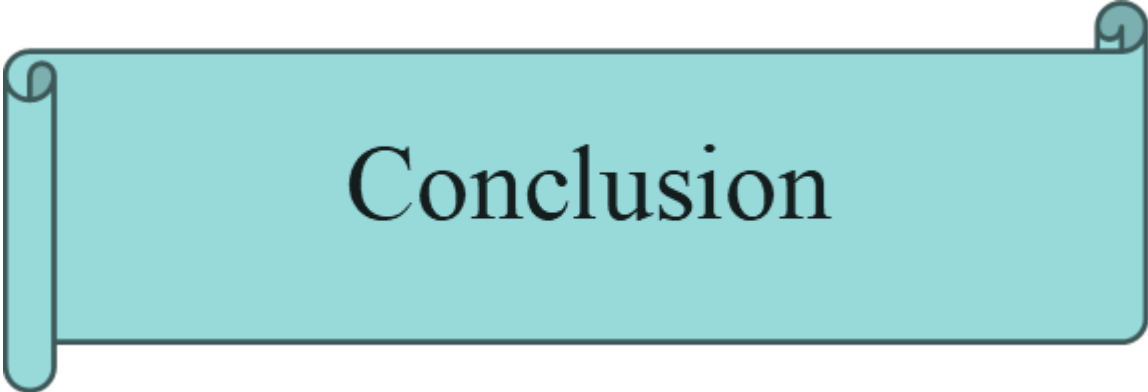


**Figure 44** : Filtre millipore empoussiéré de S3 E1

En conclusion, que les effets d'ombrage dus aux dépôts de particules en suspension sur la surface des feuilles pourraient être responsables de la diminution de la concentration en chlorophylle dans les zones polluées. Il pourrait obstruer les stomates, interférant ainsi avec les échanges gazeux, ce qui conduit à une augmentation de la température des feuilles qui peut par conséquent retarder la synthèse de la chlorophylle.

La diversité en matière de la poussière constituée sur les feuilles pourrait être la raison de la réduction de la teneur en chlorophylle, par conséquent, la réduction de l'activité photosynthétique de la feuille, et peut être même dépassant jusqu'à la réduction de la biomasse lorsque les plantes sont exposées à des concentrations croissantes et permanentes de poussières.

Pour cela, le chêne vert est une espèce écologiquement tolérante et pouvant être préconisée pour le reboisement et pour l'épuration de l'air pollué.



Conclusion

## Conclusion

La pollution atmosphérique provoque sur les écosystèmes des effets complexes, qui varient selon les espèces qui les composent et les habitats de celles-ci. Ceci aboutit en général à un déclin de la biodiversité, en éliminant directement les espèces sensibles et en perturbant les équilibres biogéochimiques.

L'impact néfaste de la pollution atmosphérique par les aérosols solides sur la biodiversité est un phénomène de grande ampleur. Pourtant, les conséquences de la pollution sur les espèces et sur les communautés sont souvent peu connues, à plus forte raison sur le long terme. Ainsi certains polluants, dont on connaît pourtant les effets délétères chez l'homme, comme les particules ou les dioxines, font l'objet de peu de recherches (INRA, 2005).

L'objectif de cette étude était de montrer qu'une réponse biochimique par la chlorophylle chez l'espèce de Chêne, à savoir "*Quercus ilex* L.", peut se manifester sous l'effet de la pollution atmosphérique par les poussières industrielles et aussi de quantifier la masse des dépôts de poussières sur le système foliaire de cette espèce.

L'adaptation de l'espèce étudiée traduit une forme de sa résistance. Cette réponse qui s'affiche de manière non destructive présente un intérêt considérable, car elle offrirait un moyen direct d'engager des actions correctives en temps opportun.

Compte tenu du rôle vital que les pigments végétaux jouent dans le processus photosynthétique et l'état physiologique général des plantes, leur estimation précise fournirait un moyen de surveiller la santé des plantes et de déterminer indirectement la réponse au stress (Langridge, 2017).

En ce qui concerne les mesures de quantité des poussières déposées sur la surface foliaire, on constate qu'il y'a une relation entre la quantité des poussières déposée et les teneurs en chlorophylles.

L'utilisation des feuilles des végétaux ligneux contribue à la quantification de la pollution de l'air par les particules dans les centres urbains. Ils sont utilisés, non seulement pour

l'observation des symptômes d'attaque qu'ils manifestent, mais encore comme collecteurs de poussières (Ozenda, 1982 cité par Belhadj, 2011),

A la lumière des résultats obtenus, le paramètre chlorophylle constitue un bon indicateur de la pollution atmosphérique par les rejets d'usine de la baryte d'une part et des poussinières désertiques d'autre part, ont une influence directe sur la synthèse des pigments chlorophylliens du chêne vert (*Quercus ilex* L.).



## **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- Acherar M., Rambal S. et Lepart J., 1991. Evolution du potentiel hydrique foliaire et de la conductance stomatique de quatre chênes méditerranéens lors d'une période de dessèchement. *Ann. Sc. For.*, 1991, vol. 48, (5) : 561–57.
- Achhal H., 1979 - Le chêne vert dans le Haut Atlas central: Etude phytoécologique. Problèmes posés par les aménagements de la chênaie .Thèse Doct.3ème cycle, Univ.Aix.Marseille (France), 116p.
- Agbaire, P.O., Esiefarienrhe., E., 2009. Air pollution tolerance indices (apti) of some plants around Otorogun gas plant in Delta State, Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ.Manag.* 13 (1), 11–14.
- Amri B., (2007). Pollutions et nuisances dans la ville de Constantine : effets et impacts sur l'environnement. *Sciences & Technologie D – N°26*. P 21- 30.
- Armbrust, D.V., 1986. Effect of particulates (dust) on cotton growth, photosynthesis and respiration. *Agron. Am. Soc. Agron.* 6 (78), 1078–1081.
- B.N.E.F, 2004. Plan d'aménagement des forêts d'Ouled Yagoub et Beni Ouadjana. Rapport de travail.
- Barbero M. et Loisel R., 1980. Le chêne vert en région méditerranéenne. *Rev. For. Fr.*, 32 : 531-543.
- Barbero M., Bonin G., Loisel R. et Quezel P., 1992. La dynamique du couvert végétal en - région méditerranéenne. Séquences secondaires et matorralisation. In" Montagnes et Forêts méditerranéennes". Agriculture et transformation des terres dans le bassin méditerranéen." icalpe éd. Le Bouget-du-Lac : 115-128.
- Barbero, M. R. P. F., Loisel, R., & Quézel, P. (1992). Biogeography, ecology and history of Mediterranean *Quercus ilex* ecosystems. In *Quercus ilex L. ecosystems: function, dynamics and management* (pp. 19-34). Springer, Dordrecht.
- Barry J.P., Celles J.C., et Faurell (1976). Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques - Feuille d'Alger au 1/1.000.000., Soc. Hist. Nat. Nord, Alger.42 p.
- Bellon S., Cabanes B., Dimanche N., Guerin G., Msika B., 1996 - Les ressources sylvo-pastorales des chênaies méditerranéennes. *Forêts méditerranéennes*. XVII.3 : 197-209.
- Benabdellah, M. 2007. Essai d'une analyse phyto-écologiques des groupements à Thuya et à Chêne vert dans la partie sud-ouest des monts de TLEMEN. Thèse de Magister en foresterie, Université Abou Bakr Belkaid –Tlemcen. 242p+ annexes.

- Bender, M.H., Baskin, J.M., Baskin, C.C., 2002. Flowering requirements of *Polymniacandensis* (Asteraceae) and their influence on its life history variation. *Plant Ecol.* 160, 113–124.
- Berg L R., Raven, P H., Hassenzahl D M., (2009). Environnement, pollution atmosphérique 6<sup>ème</sup> Edition de Boeck supérieur. P 488- 524
- Boucher O., (2012). Aérosols atmosphérique, propriétés et impacts climatiques. Springer.508 p.
- Boudy P., 1950 - Economie forestière Nord Africaine. Tome(2) Fasc.1. Monographie et traitement des essences forestières. Ed. Larose, Paris, 525p.
- Boudy P., 1950. Economie forestière Nord-Africaine. Tome 11 : monographies et traitement des essences forestières. Fasc.2 : monographie et traitement du thuya de berbérie, p 707-739. Ed Larose, 1950.
- Boudy, P., (1952). Guide de Forestier en Afrique du Nord. Paris, Maison Rustique. 509 p.
- Bowes G. B., Mauseth J. D., (2012). Structure des plantes. Ed. Quæ. Pp : 30-64.
- C.F., (2012). rapport de travail.
- Chakhparonian M., Zryd J. P. (1995). Développement d'un système biologique de surveillance de pollution atmosphérique : étude sur des populations d'*arbidopsis thaliana* sous conditions contrôlées. Université de lausanne. Laboratoire de phytogénétique cellulaire. Pp : 3-7.
- D.G.F., (2007). Superficies, potentialités et bilan d'incendies des forêts algériennes. Rapport de travail.
- D.P.A.T., (2012). Direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire de la wilaya de Khenchela. Rapport de travail.
- D.P.A.T., (2012). Direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire de la wilaya de
- Dajoz, R., (1980). Ecologie des insectes forestiers. Ed. Gauthier-Villars. Paris : 489 pp.
- De Parcevaux, S., Huber, L., (2007). Bioclimatologie Concept et application. Edition Quæ. P 24.
- Dedio, W., 1975. Water relations in wheat leaves as screening test for drought resistance. *Can. J. Plant Sci.* 55, 369–378
- Delams, R., (2012). Atmosphère, Océan et climat. Edition belin. Bibliothèque scientifique. P 11.

- Delillis M. et Fontanella A., 1992. Comparative phenology and growth in different species of the Mediterranean maquis of central Italy. *Vegetatio* 99-100, 83-96.
- Delmas, R., Mégie G., Peuch V., (2005). *Physique et chimie de l'atmosphère*, Paris : 639 p.
- DSA., (2011). Service des statistique ; direction des services agricole de la wilaya de Khenchela. Rapport de travail. p : 15-31.
- E Emberger, L., (1955). Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Labo. Bot.*
- Environmental pollution centers (EPC) 2020. What is air pollution. [En ligne]. Disponible sur : < <https://www.environmentalpollutioncenters.org/air/> > (consulté le 17/03/2021).
- Ernst, W.H.O., 1982. Monitoring of particulate pollutants. In: Stebbing, L., Jager, H.J.(Eds.), *Monitoring of Air Pollutants by Plants*. Junk Publishers, The Hague, TheNetherlands, pp. 121–128.
- Estienne, E. P., Godard, A., (1970). *Climatologie*. Armande Coline. Collection. P 39.
- Farineau, J., Morot-Gaudry, J.F., (2006). *Processus physiques, moléculaires et physiologiques*. Ed Quae. 460 p.
- Farmer, A.M., 1993. The effects of dust on vegetation—a review. *Environ Pollut.* 79 (1), 63–75.
- Farooq, M., Arya, K.R., Kumar, S., Gopal, K., Joshi, P.C., Hans, R.K., 2000b. Industrial pollutants mediated damage to mango (*Mangifera indica*) crop—a case study. *J. Environ. Biol.* 21, 165–167.
- Farooqui, A., Kulshreshtha, K., Srivastava, K., Singh, S.N., Farooqui, S.A., Pandey, V., 1 Khatri, S., (2003). *Manuel du cours de Climatologie*. Ecole Hassania des Travaux Publics Direction de la Météorologie Nationale. 43 p.
- Eller, B.M., 1977. Road dust induced increase of leaf temperature. *Environ. Pollut.* 137, 99–107.
- Ahmad, K.J., 1995. Photosynthesis, stomatal response and metal accumulation in *Cineraria maritima* Linn. And *Centauria moschata* Linn. grown in metal richsoil. *Sci. Total Environ.* 164, 203–207.
- Faurel, L., Laaffite. L., (1949). Facteurs de répartition des cédraies dans le massif de l'Aurès et du Belezma. *Bull. Sci. d'Hist. Nat de l'afrique du Nord*. Tome p 40.
- Féret, J.B., (2009). Apport de la modélisation pour l'estimation de la teneur pigments foliaires par télédétection. Thèse de doctorat de l'université pierre et marie curie. Pp : 13.

- Fosa, (2000). L'importance des Aires Protégées dans la Conservation de la Biodiversité en CI DPN
- Freer-Smith, P.H., Taylor, G., 1992. Comparative evaluation of the effects of gaseous pollutants, acidic deposition and mineral deficiencies on gas exchange of trees. *Agric. Ecosyst. Environ.* 42, 321–332.
- Garrec J. P. (2007). L'expertise technique et scientifique de référence. Laboratoire Pollution atmosphérique INRA – Centre de recherche de Nancy.
- Garty, J., Tamir, O., Hassid, I., Eshel, A., Cohen, Y., Karnieli, A., et al., 2001. Photo-synthesis, chlorophyll integrity, and spectral reflectance in lichens exposed to air pollution. *J. Environ. Qual.* 30, 884–893.
- Gaussen H., 1954. Théorie et classification des climats et microclimats. VIII<sup>e</sup> Congrès international de botanique. Paris 2-14 juillet 1954 : 125-130
- Giri, S., Deepali, S., Ketki, D., Pallavi, D., (2013). Effect of Air Pollution on Chlorophyll Content of Leaves. *Current Agriculture Research Journal*. Vol. 1(2), 93-98
- Gostin, I.N., 2009. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. *Not. Bot. Horti. Agrobot. Cluj-Napoca* 37, 57–63.
- Gregory, A., Carter, B., Spiering, A., (2002). Optical Properties of Intact Leaves For Estimating chlorophyll concentration. Pp : 1424-1432.
- Gupta, M.C., Ghose, A.K.M., 1987. The effect of coal-smoke pollutants on growth yield and leaf epidermis features of *Abelmoschus esculentus* Moench. *Environ. Pollut.* 43, 263–270.
- Guyot, G., (1999). Climatologie de l'environnement. 2<sup>e</sup> édition Dunod. p 525.
- Harisson, R.M., Laxen D.P.H., Wilson S.J., (1981). Chemical associations of lead, Cd, Cu, Zn in street dusts and roadside soils. *American Chemical Society. Environment Science and Technology.* 15 (11) : 1378-1383.
- Hirano, T., Kiyota, M., Aiga, I., 1995. Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants. *Environ. Pollut.* 89, 255–261.
- Hope, A.S., Fleming, J.B., Stow, D.A., et al., 1991. Tussock tundra albedo on the north slope of Alaska: effects of illumination, vegetation composition, and dust deposition. *J. Appl. Meteorol.* 30, 1200–1206.
- Hopkins, W.G. (2003). *Physiologie végétale*. 2<sup>e</sup> édition De Boeck. 514p.
- INRA., (2005). L'Institut national de la recherche agronomique. Rapport d'activité 2005.
- Jones, H.G., 1994. *Plants and Microclimate*, 2nd ed. Cambridge University, Cambridge, UK.

- Joshi, N., Chauhan, A., Joshi, P.C., 2009. Impact of industrial air pollutants on some biochemical parameters and yield in wheat and mustard plants. *Environmentalist* 29,398–404.
- Kkhenchela. Rapport de travail.
- Laitat, É. (1990). *Écophysiologie du pluviollessivage foliaire chez Picea abies (L.) Karst.* Thèse doct. sci. agron., Fac. sci. agron. Gembloux, Belgique, 237 p.
- Lambers, H., Chapin III, F.S., Pons, T.L., 1998. *Plant Physiological Ecology.* Springer, New York.
- Landis W. G., and Yu M. H., (1995), introduction to environmental toxicology. Impacts of chemicals upon ecological system. CRC press. Inc. Boca Raton, USA; p 328.
- Landis, W.G., Yu, M.H (1995). Introduction to environmental toxicology. Impact of chemicals upon ecological system. CRC press. Inc. Boca Raton, USA. P 328.
- Langridge, P., Shah S.H., Houborg R., McCabe M.F., (2017). Response of Chlorophyll, Carotenoid and SPAD-502 Measurement to Salinity and Nutrient Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*. MDPI. Pp: 2-20.
- Lehninger, A. L., (2008). *Principles of biochemistry.* 1158 p.
- Lehninger, A.L., (1989). *Principes de biochimie. Aminoacides et peptides ; La photosynthèse.* Eds. Flammarion Medecine-Science, Johns Hopkins University, Paris. 1001 p.
- Letreuch belarouci, N. 1995. *Réflexion autour du développement forestier : les zones à potentiel les de productions . Les objectifs.* OPU. Alger 69p.
- Lieutaghi, P., (2004). *Le livre des Arbres, Arbustes et Arbrisseaux.* Ed Actes Sud. 1322 p.
- Lines, Roger (1984); Species and seed origin trials in the industrial Pennines, *Quarterly Journal of Forestry* 28 (1), 9-23
- Maire R., 1926 - *Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie.* Gouvernement General d'Algérie. Services des cartes, Alger, 78 p.
- Maizi N., Alioua A., Ali tahar A, Semadi F., Fadel. D., (2010). Utilisation des végétaux inférieurs comme bio indicateurs de la pollution plombique d'origine automobile dans la région d'Annaba (Algérie). *J. Mater. Environ. Sci*, p 251-266.
- Mansfield, T.A., Majernik, O., 1970. Can stomata play a part in protecting plants against air pollutants? *Environ. Pollut.* 1, 149–154.
- Masclet, P., (2005). *Environnement. Pollution atmosphérique (causes, conséquences, solutions, perspectives),* édition ellipses. Pp : 72-80.

- Mashitha, P.M., Pise, V.I., 2001. Biomonitoring of air pollution by correlating the pollution tolerance index of some commonly grown trees of an urban area. *Pollut. Res.* 20, 195–197.
- Mauri P.V., Manzanera J A., 2005 - Protocol of somatic embryogenesis: holm oak (*Quercus ilex*). In: *Protocol for Somatic Embryogenesis in Woody Plants*. Eds., Jain S.M., Gupta P.K., Springer. Printed in the Netherland, pp. 469-482.
- Meyer, S, Reeb, C., Bosdevei X., (2013). *Botanique. Biologie et physiologie végétale*. Ed. Maloine. 2ème édition révisée ; P 127-129.
- Michaud H., Toumi L, Lumaret R., LI T.X., Romane F. et DI giusto F., 1995.- Effect of geographical discontinuity on genetic variation in *Quercus ilex* L. (holm oak). Evidence from enzyme polymorphisme. *Heredity* 74: 590-606.
- Ministère de la Transition écologique et solidaire, pour la surveillance et l’information sur la qualité de l’air en Auvergne-Rhône-Alpes (A A-R-). *Atmo Auvergne-Rhône-Alpes* [En ligne]. 01/01/ 2016. Disponible sur : <https://www.atmoauvergnerhonealpes.fr/article/effets-sur-lenvironnement> (consulté le 17/03/2021)
- MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE. Loi n° 96-1236 du 30/12/96 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, Abrogée et codifiée par l'ordonnance n° 2000-914 du 18 septembre 2000 (JO n° 219 du 21 septembre 2000) ; [en ligne] journal officiel, JO n° 1 du 1er janvier 1997. Disponible sur:
- Misra, R., Behera, P.K., 1994. Bioindicator of AI of air pollution threat caused by industries in western Orissa. *Pollut. Res.* 13, 203–206.
- Naidoo, G., Chirkoot, D., 2004a. The effects of coal dust on photosynthetic performance of the mangrove, *Avicennia marina* in Richards Bay, South Africa. *Environ. Pollut.* 127, 359–366.
- Naidoo, G., Chirkoot, D., 2004b. The effects of coal dust on photosynthetic performance of the mangrove, *Avicennia marina* in Richards Bay, South Africa. *Environ. Pollut.* 127 (3), 359–366.
- Nilsson, S., Sallinas, O., (1999). Pollution atmosphérique et forêts Européennes, des modèles de simulation à l’appui des politiques forestières. *Forêt et environnement* : 1-12.
- Pal, A., Kulshreshtha, K., Ahmad, K.J., Yunus, M., 2000. Changes in leaf surface structures of two avenue tree species caused by autoexhaust pollution. *J. Environ. Biol.* 21, 15–21.

- Pardo C., 2005 - L'arbre au cœur des dynamiques socio-territoriales: le chêne vert marqueur d'une nouvelle méditerranéité. Ouvrage collectif, congrès international "Environnement et identité en Méditerranée", Tome II, pp.540-550.
- Paton D., Garcia-herrera R., Cuencia J., Galavis M., Roig F.A., 2009-Influence of climate on radial growth of holm oaks (*Quercus ilex* subsp *Ballota* Desf) from SW Spain. *Geochronometria*, 34: 49-56.
- Péguy C.H.P., (1970). Précis de Climatologie. Masson & Cie, Editeurs. 468 p.
- Pons A. and Quezel P., 1985.-The history of the flora and vegetation and past and present human disturbance in the mediterranean region. In: C. Gomez-Campo (coord.). Plant conservation in the mediterranean region. *Geobotany* 7. Dr. W. Junk Publishers : 25-43.
- Pons A. et Vernet J.L., 1971.- Une synthèse nouvelle de l'histoire du chêne vert (*Quercus ilex* L.). *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 118: 841-850.
- Popov B., 1980. Cours d'anatomie et science du bois. INA. El Harrach. 152p.
- Prajapati, S.K., Tripathi, B.D., 2008a. Seasonal variation of leaf dust accumulation and pigment content in 25 plant species exposed to urban particulates pollution. *J. Environ. Qual.* 37,865–870.
- Prajapati, S.K., Tripathi, B.D., 2008b. Assessing the genotoxicity of urban air pollutants in Varanasi city using *Tradescantia micronucleus* (Trad-MCN) bioassay. *Environ. Int.* 34, 1092–1096.
- Prusty, B.A.K., Mishra, P.C., Azeeb, P.A., 2005. Dust accumulation and leaf pigment content in vegetation near the national highway at Sambalpur, Orissa, India. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 60, 1193–1204.
- Quezel P., (1979). La Région Méditerranéenne française et ses essences forestières. Signification écologique dans le contexte Circum-méditerranéen. *Font Medit.* 1 (1) : 7-18.
- Quezel, P. (1976). Les forêts du pourtour méditerranéen. In forêts et maquis méditerranéens : écologie, conservation et aménagements. Note techniques.MAB.2 : 9-39.UNESCO. Paris.
- Rabaa, C., (2008). Le chêne vert, le chêne liège. Ed Actes sud. 88 p.
- Rai, P.K., 2016a. Biomagnetic Monitoring through Roadside Plants of an Indo-Burma Hot Spot Region. Elsevier, UK, p. 196, ISBN: 978-0-12-805135-1.
- Rai, P.K., Panda, L.S., Chutia, B., Singh, M., 2013. Comparative assessment of air pollution tolerance index (APTI) in the industrial (Rourkela) and non-industrial area (Aizawl) of India: an eco-management approach. *Afr. J. Environ. Sci..Technol.* 7 (10), 944–948.

- Rai, P.K., Singh, M.M., 2015. Lantana camara invasion in urban forests of an Indo-Burma hotspot region and its ecosustainable management implication through biomonitoring of particulate matter. *J. Asia-Pac. Biodivers.* 8 (4), 375.
- Rai, P.K., 2016b. Biodiversity of road side plants and their response to air pollution in an Indo-Burma hotspot region : implications for urban ecosystem restoration. *J. Asia-Pac. Biodivers.* 9 (1), 47–55.
- Ramade, F., (2005). *Éléments d'écologie, écologie appliquée*. 6<sup>e</sup> Ed Dunod. 864P.
- Ramade, F., (2008). *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*. Dunod-paris. P 586.
- Rangkuti, M.N., 2003. Kemampuan menyerap timbel (Pb) pada daun beberapa jenis tanaman penghijauan jalan tol Jagorawi: analisis struktur anatomi dan histo kimia [Thesis]. Bogor Agricultural Univ, Bogor.
- Raven, P H., Berg L R., Hassenzahl D M., (2009). *Environnement*. Ed. de Boeck Pp :37-43.
- Rechcigl, J.E., Sparks, D. L., (1985). Effect of acid rain on the soil environment :A review. *Taylor & Francis.* 16 (7) : 653 – 680.
- Reimann, C., Koller, F., Kashulina, G., Nilksvaara, H., Englmaier, E., 2001. Influence of extreme pollution on the inorganic chemical composition of some plants. *Environ. Pollut.* 115, 239–252.
- Saaid A., 1993 - Contribution en la conception d'une méthode d'échantillonnage pour l'étude quantitative de *Tortrix viridana* L., I.N.R.F.
- Saha, D.C., Padhy, P.K., 2011. Effects of stone crushing industry on *Shorea robusta* and *Madhucaindica* foliage in Lalpahari forest. *Atmos. Pollut. Res.* 2, 463–476.
- Saunders, P.J.W., Godzik, S., 1986. Terrestrial vegetation-air pollutant interactions: non-gaseous air pollutants. In: *Air pollutants and their effects on the terrestrial ecosystem*. In: Legge, A.H., Krupa, S.V. (Eds.), *Advances in Environmental Science and Technology* 18. Wiley, New York, USA, pp. 389–394.
- Sauvage C.H., 1961 - Recherches géobotaniques sur les subéraies marocaines. *Trav. Inst. Scientifique chérifien*, Rabat, Maroc, 462 p.
- Scarascia-Mugnozza G., OSWALD H., PIUSSI P., RADOGLU K., 2000 - Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs. *For. Ecol. Manag.*, 132: 97-109.

- Schneider, J., Voigt C., (2011). Chp 1 : Introduction to Aerosol, Exp. Met. I Physics and Chemistry of Aerosols and Ice Clouds.
- Schuppler, U., He, P.H., John, P.C.I., Munns, R., 1998. Effect of water stress on cell division and Cdc2-like cell cycle kinase activity in wheat leaves. *Plant Physiol.* 117, 667–678.
- Seyyednejad, S.M., Niknejad, M., Koochak, H., 2011. A review of some different effects of air pollution on plants. *Res. J. Environ. Sci.* 5, 302–309.
- Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., Avudainayagam, S., 2005. Chromium toxicity in plants. *Environ. Int.* 31, 739–753.
- Shrivastava, N., Joshi, S., 2002. Effect of automobile air pollution on the growth of some plants at Kota. *Geobios* 29, 281–282.
- Singh, S.N., Verma, A., 2007. Phytoremediation of air pollutants: a review. In: Singh, S.N., Tripathi, R.D. (Eds.), *Environmental Bioremediation Technology 1*. Springer, Berlin Heidelberg, pp. 293–314
- Stenbock-Farmer, K., 1978. Mise au point de techniques de lavage de feuilles en vue d'estimer les dépôts de particules. *Bulletins of European Research Associates, Bruxelles*, 3: 63-75.
- Sukumaran, D., 2012. Effect of Particulate Pollution on various Tissue Systems of Tropical Plants. Central Pollution Control Board (CPCB), Zonal Office, Kolkata, India
- Tewari, S., N Vishwanathan, (2008). Longman Science Biology. Ed Pearson. 128 pages.
- Tiwari, S., Agrawal, M., Marshall, F.M., 2006. Evaluation of ambient air pollution impact on carrot plants at a sub urban site using open top chambers. *Environ. Monit. Assess.* 119, 15–30.
- Torrent., 1955 - Oak Tortrix and its Control in Spain. *FAO plant Prot. Bull.*, 3, 117-121.
- Vardak, E., Cook, C.M., Lanaras, T., et al., 1995. Effet de la poussière d'une carrière de calcaire sur la photosynthèse de *Quercus coccifera* et de l'arbuste sclérophylle à feuilles persistantes. *Taureau. Environ. Contam. Toxicol.* 54, 414–419.
- Verma, A., Singh, S.N., 2006. Biochemical and ultrastructural changes in plant foliage exposed to auto pollution. *Environ. Monit. Assess.* 120, 585–602.
- Voet, D., and Voet, J.G., (1998). *Biochimie*. De Boeck Université, Paris, Brussels, pp: 648-782.
- Weinman, S., Mehul, P., (2004). *Toute la biochimie*. DUNOD. 452 p.

- Witham, F.H., Blaydes, D.F., Delvin, R. M. (1971). Experiments in plant physiology. Eds. Van Nostrand Reinhold, 245p.
- Zaninotto Vincent, Faure Emmanuel. ENS. [En ligne]. Paris. CERES-ERTI. 1er semestre - Année 2014-2015, 24p. Disponible sur :  
<http://www.ceres.ens.fr/enseignements/description-des-ue/2014-2015/>  
(Consulté le 17/03/2021).