



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abbes Laghrou, Khenchela
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Ecologie & Environnement

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

Master Académique

FILIERE : Ecologie et Environnement

Option : Ecologie et environnement

Thème :



**Réponse à la pollution atmosphérique
par la chlorophylle du Chêne vert "*Quercus ilex*L."
dans la localité d'Ain Mimoun**

Présenté par :

BORHANI Omayma

ZERDOUM Hadia

Soutenu le : 11 /06/2018

Devant le jury :

Président : M^r MENASRI Ammar MAA Université Abbes LAGHROUR, Khenchela

Examineur : M^r SALHI Zine El Abiddine MAA Université Abbes LAGHROUR, Khenchela

Promoteur: Dr DELLA Yasmina MCB Université Abbes LAGHROUR, Khenchela

Année universitaire : 2017/ 2018

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 **M^{lle} 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 messieurs 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 **Mr Salhi Zine El Abidine** 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.*

Finalement, 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.

Oumaima Borhani et Hadia Zerdoum

Dédicaces

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donnée la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire "ya Hay ya Kayoum"

Ce travail modeste est dédié :

*L'amour de mon cœur **LouLou***

*À ma chère mère : **Nora***

La lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et son soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité

*À mon père : **Saleh***

Qui m'a fait confiance et m'a encouragée à continuer le bout du chemin. Sois fier de moi aujourd'hui et vois à travers ce travail mon amour sincère et ma gratitude profonde.

*Mes sœurs : **Hana, Sonia, Kamilia** et mes frères : **Haron et Hani,***

*À tous mes proches de la famille **Zerdoum**, et plus particulièrement, mes oncles : **Samir,***

Dadi, Morad et Minou,** tata **Radhiya et Hafidha** et ma chère **Doja

*À mes fidèles amies: **Maissa, Habiba, Ben Adda Khadija, Adjadj Houria, Walida, Omayma,***

Meriem, Ahlem Biochimie...

Aux étudiants de ma promotion pour leurs sympathie et leur soutien durant les années d'étude, je leur souhaite beaucoup de succès.

*À tous les enseignants que j'ai connus surtout **Mr Salhi Zin El Abidin** et **Madame Mezhoud.***

*Enfin, je dédie ce modeste travail à ma chère **Dellaa Yasmina**, la femme modeste avec qui j'ai appris beaucoup de choses.*

Hadia zerdoum

Dédicaces

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donnée la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire "Ya Rahmane ya Karim ya Modjibe "

Je dédie ce travail

A ceux qui ont dessiné les plus belles images de ma vie, qui me poussent aujourd'hui vers l'avant et rassurent mes pas, qui m'ont tant appris et ont fait de moi ce que je suis, que Dieu les garde, joie de ma vie :

*Mon père : **Borhani Tedj Eddine** et ma Mère **Borhani Fatima***

*Ma chère et unique sœur **Imene**, A mes frères : **Djalel , Ishak, Nacer, Islem et Zaki***

*A mon cher neveu **dadou** et Ma petite nièce adoré **loli***

*A toute la famille : **Borhani***

*A mes fidèles amies : **Hannah, Sabrine, Loubna, Ghada, Gamra, Rania, Hadia, Imene, Asma.***

Aux étudiants de ma promotion pour leurs sympathies et leur soutien durant les années d'étude, je leur souhaite beaucoup de succès :

Rayen, Yasmine, Rawya, Ahlem, Souhila , Samira...

*A tous les enseignants que j'ai connus sur tout **Dr.Allaoui,Dr Badis.***

*Enfin, je dédie ce modeste travail à ma très chère **Dr.Delaa Yasmina**, la femme modeste avec qui j'ai appris beaucoup de choses.*

Omayma borhani

Réponse à la pollution atmosphérique par la chlorophylle du Chêne vert dans la commune d'Ain Mimoun

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. L'espèce préconisée dans cette étude est le chêne vert 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 le limbe des feuilles de chêne vert de cinq stations, pour prélever et analyser les teneurs en chlorophylles, 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 élevées 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 S4 et faibles dans les stations S3 et S5 comme. 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.

Response to atmospheric pollution by green oak chlorophyll in the commune of Ain Mimoun

Abstract

The present work is devoted to the study of the impact of a potential pollution induced by visible gaseous effluents, in the commune of Ain Mimoun in the Wilaya of Khenchela; where the forest is subject to constraints of industrial particle discharges from the baryte exploitation factory. The species recommended in this study is the holm oak which is an essence used for its properties of indicator of the presence of polluting elements in the ecosphere by its apparent tolerance. We carried out samples on the limbus of the green oak leaves of five stations, to collect and analyze the chlorophyll contents, in the laboratory of the Faculty of Sciences of Nature and Life. Fluctuations in chlorophyll levels between the near and far sampling stations of the factory were found. The results revealed high concentrations of chlorophylls in the stations considered to be the most polluted. These grades differ from one station to another. They are high at stations S1, S2 and S4 and low at stations S3 and S5. Visible air pollution in the study area is alarming and the consequences can be abiotic stress in the holm oak that can lead to dieback.

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

الاستجابة لتلوث الغلاف الجوي بواسطة يخضور البلوط الأخضر في منطقة عين ميمون

ملخص

ويكرس هذا العمل لدراسة تأثير التلوث الناجم عن المخلفات الغازية المرئية ، في منطقة عين ميمون في ولاية خنشلة ؛ حيث تخضع الغابات لقيود تصريف الجسيمات الصناعية من مصنع استغلال البارييت. الأنواع الموصى بها في هذه الدراسة هي البلوط ، وهو جوهر يستخدم لخصائصه كمؤشر لوجود العناصر ملوثة في الغلاف الجوي من خلال تحمله الظاهر. أجرينا عينات على حواف أوراق البلوط الأخضر من خمس محطات ، لجمع وتحليل محتويات الكلوروفيل ، في مختبر كلية علوم الطبيعة والحياة. تم العثور على تقلبات في مستويات الكلوروفيل بين محطات أخذ العينات القريبة والبعيدة من النبات. وكشفت النتائج عن تركيزات عالية من الكلوروفيل في المحطات التي تعتبر الأكثر تلوثاً. هذه الدرجات تختلف من محطة إلى أخرى. وهي عالية في المحطات S1 و S2 و S4 وقليلة في المحطتين S3 و S5. تلوث الهواء المرئي في منطقة الدراسة ينذر بالخطر ويمكن أن تكون العواقب الإجهاد غير الحيوي في البلوط الذي يمكن أن يؤدي إلى موته.

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

Liste des Abréviations

AEE	Agence Européenne pour l'Environnement
An	Ans, année
API	Américain Petroleum Institute.
ATP	Adénosine Triphosphate.
BNEF	Bureau Nationale d'Etude Forestière.
Ba	Baryum.
BaSO₄	Barite.
°C	Dégréé Celsius.
Cm	Centimètre .
Chl	Chlorophylle.
(CH₂O) n	Carbohydrate.
CO₂	Dioxyde de Carbone.
COV	Composé Organique Volatile.
CP	Coefficient Pluviométrique.
CP	coefficient pluviométrique.
CH₄	Méthane.
D_p	Diamètre aérodynamique moyen appelé.
DO	Densité optique.
DPAT	directeur de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
D.G.A.C	Direction Générale d'Aviation Civile.
DSA	Direction de la Santé et de la Population - KHENCHEL
E	Energie.
e⁻	Electron.
EIE	Etude de l'Impact sur l'Environnement
ETP	Evapotranspiration potentielle.
ETR	Evapotranspiration réelle.
h_{moy}	nombre moyen d'heure de jours.
H⁺	Ions.
Ha	Hectare.
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.
I	Indice thermique mensuel.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change.
IR	Infra Rouge.
IRD	Institue Régionale de Développement
Ia	indice d'aridité.
GPS	Global Positioning System.
K	Facteur correctif intégrant la durée d'insolation et la température
Kg	Kilogramme.
kJ·mol	Kilojoule. Mole.
m_{min}	moyenne des minima du mois le plus froid (°C).
m	Mètre.
M_{max}	moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C).
mm	Millimètre.
Mg²⁺	Magnésium.
mg	Milligramme.
Mt.an⁻¹	Un million de tonne par ans
MATET	Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme.
µm	Micromètre
N	Nombre de jours dans le mois considéré.
N°	Numéro.

NADP⁺	Nicotinamide Adénine Di nucléotide Phosphate.
NADPH	Nicotinamide Adénine Di nucléotide Phosphate (Réduit).
Nm	Nanomètre.
NMHC	Non methanic hydrocarbons ; hydrocarbures non méthaniques
OMM	Organisation Météorologique Mondiale.
OMS	Organisation Mondiale de la Santé.
OMM	Organisation Météorologique Mondiale.
P	Précipitations mensuelles.
PM	(PM pour Particulate Matter) ; matière particulaire.
P_{moy}	Précipitations moyennes annuelles (mm).
ppm	Partie par million.
PAN	Les peroxyacylnitrates.
PCB	Polychlorobiphényle
S	Station.
S.A.U	Superficie Agricole Utile.
S.A.T	Superficie agricole totale.
SOMIBAR	Société des Mines de Baryte d'Algérie.
t	Température moyenne mensuelle en (°C).
T	Températures moyennes annuelles (°C).
TSP	Total Suspended Particles.
UV	Ultrat Violet.
DE	Direction de l'environnement

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tab III-1	Composition chimique de l'atmosphère	35
Tab III-2	Les principaux polluants de l'air	36
Tab III-3	Impacts des polluants atmosphériques sur la végétation	38
Tab III-4	Concentrations des aérosols	43
Tab III-5	Flux d'émission des particules d'aérosols en Mt.an ⁻¹	45
Tab IV-1	Propriétés physico-chimiques du baryum	52
Tab IV-2	Minerais de Baryum	53
Tab IV-3	Principaux producteurs de barytine et tonnes produites par an.....	54
Tab IV-4	Composition chimique du minerai d'Ain Mimoun	57
Tab IV-5	caractéristiques physico-chimique de la baryte	59
Tab V-1	Occupation du sol dans le massif des Ouled Yagoub	68
Tab V-2	Répartition générale des terres agricoles	69
Tab V-3	Les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma 2017.	72
Tab V-4	Le rapport de la pluviométrie d'une année de la pluviométrie moyenne d'une série 2007-2017 à la station d'El-Hamma.....	74
Tab V-5	Humidité moyenne mensuelle à la station d'El Hamma	77
Tab VI-1	Coordonnées géographiques de la station 1	86
Tab VI-2	Coordonnées de la station S2	87
Tab VI-3	Coordonnées de la station S3.	88
Tab VI-4	Coordonnées de la station VI-4.....	89
Tab VI-5	Coordonnées de la station S5.....	90

Liste des figures

N°	Titre	Page
Chapitre I		
Figure I-1	Arbre et arbuste du chêne vert utilisés	4
Figure I-2	Distribution de <i>Quercus ilex</i> dans le Bassin Méditerranéen	5
Figure I-3	Répartition du chêne vert en Algérie modifié	6
Figure I-4	Feuilles de <i>Quercus</i> sp	10
Figure I-5	Fruits du chêne vert	11
Figure I-6	Feuille de chêne vert utilisées	13
Figure I-7	Inflorescences du chêne vert.....	13
Figure I-8	Fruit du chêne vert.....	14
Chapitre II		
Figure II-1	Principales voie de développement du plastide	19
Figure II-2	Un jeune chloroplaste	20
Figure II-3	Structure des molécules de chlorophylles <i>a</i> et <i>b</i>	21
Figure II-4	Structure de la chlorophylle	23
Figure II-5	Processus simplifié de la photosynthèse dans la feuille	26
Chapitre III		
Figure III-1	Différentes zones et phénomènes de l'atmosphère	33
Figure III-2	Les voies de pénétration des polluants dans les feuilles.....	40
Figure III-3	Terminologie de classification des particules atmosphériques	42
Figure III-4	Structure probable de l'aérosol	44
Figure III-5	Evolution d'un aérosol atmosphérique	48
Figure III-6	Effet d'aérosol sur la visibilité (la qualité de l'air)	49
Chapitre IV		
Figure IV-1	Minerai naturel de Baryte extraite.	51
Figure IV-2	Localisation Géographique du gisement d'Ain Mimoun.....	55
Figure IV-3	Une forme de baryte.	56
Figure IV-4	Localisation géographique du gisement d'Ain-Mimoun.....	56

Chapitre V

Figure V-1	Situation géographique de la wilaya de Khenchela.....	62
Figure V-2	Zones naturelles de la wilaya de Khenchela	63
Figure V-3	localisation de la wilaya de Khenchela dans le nord de l'Algérie ...	63
Figure V-4	Carte des reliefs de la wilaya de khenchela	65
Figure V-5	Carte des pentes de la wilaya de khenchela.....	66
Figure V-6	Diagramme des températures moyennes mensuelles pour la période 2007-2017 dans la wilaya de Khenchela pour	73
Figure V-7	Diagramme des précipitations moyennes mensuelles pour la période 2007-2017	74
Figure V-8	Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation pour la période 2007-2017.....	76
Figure V-9	Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité pour la période 2007-2017	78
Figure V-10	Graphe des moyennes des vitesses maximales instantanées des vents pour la période 2007-2017	78
Figure V-11	Diagramme ombrothermique de Gaussen de la zone d'étude pour la période 2007-2017	80
Figure V-12	Climagramme d'Embergie de la zone d'étude.....	81

Chapitre VI

Figure VI-1	GPS de téléphone	84
Figure VI-2	Spectrophotomètre UV/visible (Unico 1200) utilisé	84
Figure VI-3	Localisation des stations de prélèvements dans la zone d'étude	86
Figure VI-4	Station S1 préconisée dans le prélèvement des échantillons de <i>Quercus ilex</i> L. au cours d'une sortie sur terrain.	87
Figure VI-5	Station S2 préconisée dans le prélèvement des échantillons de <i>Quercus ilex</i> L. au cours d'une sortie sur terrain.....	88
Figure VI-6	Station S3 préconisée dans le prélèvement des échantillons de <i>Quercus ilex</i> L. au cours d'une sortie sur terrain.....	88
Figure VI-7	Station S4 préconisée dans le prélèvement des échantillons de <i>Quercus ilex</i> L. au cours d'une sortie sur terrain.....	89
Figure VI-8	Station S5 préconisée dans le prélèvement des échantillons de	90

	<i>Quercus ilex</i> L. au cours d'une sortie sur terrain	
Figure VI-9	Etapes du dosage de la chlorophylle au niveau du laboratoire	91
Figure VI-10	Spectre d'absorption de la chlorophylle <i>a</i>	92
Figure VI-11	Spectres d'absorption des chlorophylles <i>b</i>	93

Chapitre VII

Figure VII-1	Dépôts de poussières blanches sur les feuilles de <i>Quercus ilex</i> L....	95
Figure VII-2	Spécimens d'arbres de <i>Quercus ilex</i> L. utilisés en station S1.....	96
Figure VII-3	Aspects des taches observées sur les feuilles de <i>Quercus ilex</i> L.....	96
Figure VII-4	Teneurs en chlorophylles des échantillons de chêne vert.....	97
Figure VII-5	Aspects de feuilles de <i>Quercus ilex</i> L. endommagées	98

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Résumés

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction1

Chapitre I

Monographie du Genre *Quercus*

I.1.	Répartition géographique.....	4
I.1.1.	Répartition géographique en Algérie	5
I.2.	Phénologie du chêne vert.....	6
I.3.	Ecologie et potentialités du Chêne vert	8
I.4.	Famille botanique du Genre <i>Quercus</i>	10
I.4.1.	Caractères du genre <i>Quercus</i>	10
I.4.1.1.	Description	10
I.4.1.2.	Feuillage	10
I.4.1.3.	Fleurs	11
I.4.1.4.	Fruits	11
I.4.1.5.	Pollens	11
I.5.	Le chêne vert (<i>Quercus ilex</i> L.)	11
I.5.1.	Caractères généraux du chêne vert	12
I.5.2.	Caractères botaniques du chêne vert	12
I.5.2.1.	Les feuilles	12
I.5.2.2.	Dans les taillis	13
I.5.2.3.	Les chatons des fleurs	13
I.5.2.4.	Les fruits (glands)	14
I.5.3.	Taxonomie du chêne vert	14
I.5.4.	Développement et cycle végétatif	14
I.5.5.	Caractères climatiques du chêne vert	14
I.5.6.	Caractères édaphiques du chêne vert	15
I.5.7.	Exigences climatiques	15
I.5.7.1.	La lumière	15

I.5.7.2.	La chaleur	15
I.5.7.3.	L'eau.....	15
I.5.7.4.	Le sol.....	16

Chapitre II

Etude de la chlorophylle

II.1.	Historique de la découverte la chlorophylle	18
II.1.1.	Les plastes	18
II.1.1.1.	Voie de développement des plastes	18
II.1.2.	Les proplastes	19
II.1.3.	Les chloroplastes.....	19
II.1.4.	Les pigments chlorophylliens	20
II.1.4.1.	Définition de la chlorophylle	20
II.1.5.	Structure et propriétés chimiques de la chlorophylle	22
II.1.6.	Chlorophylles et stress environnemental	24
II.1.7.	La chlorophylle et la pollution de l'air	24
II.2.	La photosynthèse	25
II.2.1.	La découverte de la photosynthèse	25
II.2.2.	Le principe de la photosynthèse	26
II.2.3.	Mécanisme de la photosynthèse	26
II.2.4.	La photosynthèse dans les feuilles	27
II.2.5.	L'absorption de la lumière par les feuilles	28
II.2.6.	La phase claire ou photochimique	28
II.2.7.	La phase sombre	29
II.2.8.	L'effet de la pollution atmosphérique sur la photosynthèse	29

Chapitre III

La pollution atmosphérique

III.1.2.	Caractéristiques et stratification thermique de l'atmosphère	33
III.1.3.	Composition chimique de l'atmosphère	34
III.1.3.1.	Les aérosols	35
III.2.	Notion de pollution atmosphérique	36
III.2.2.	Les principaux polluants de l'atmosphère.....	36
III.2.2.1.	les polluants primaires	36
III.2.2.2.	polluants atmosphériques secondaires.....	36
III.2.3.	Relation de la végétation avec la pollution	37

III.2.4.	impacts des polluants atmosphériques sur la végétation	37
III.2.5.	La végétation et les polluants	37
III.2.5.1.	Les polluants organiques.....	37
III.2.5.2.	Les polluants inorganiques.....	39
III.2.5.3.	Les effets des polluants inorganiques atmosphériques sur la végétation.....	39
III.2.6.	L'absorption des polluants dans les plantes	39
III.2.7.	Les effets des polluants sur les plantes	41
III.3.	Les aérosols atmosphériques	41
III.3.1.	Définition et origine des aérosols	41
III.3.2.	Taille d'aérosols	42
III.3.3.	Données sur les aérosols	43
III.3.4.	Structure probable de l'aérosol	43
III.3.5.	Source et flux des particules d'aérosols	44
III.3.6.	Nature de l'aérosol	45
III.3.6.1.	Aérosol naturel	45
III.3.6.2.	Aérosol de pollution	46
III.3.6.2.1.	Aérosol Primaire ou aérosol détritique	46
III.3.6.2.2.	Aérosol Secondaire ou aérosol de conversion	46
III.3.7.	Sources d'émission des aérosols	46
III.3.7.1.	Les sources naturelles.....	46
III.3.7.2.	Les principales sources anthropiques	47
III.3.8.	Mode de formation des particules	47
III.3.8.1.	Nucléation	47
III.3.8.2.	Condensation	47
III.3.8.3.	Coagulation	47
III.3.9.	Transport des aérosols à longue distance.....	48
III.3.10.	Impact climatique	48

Chapitre IV

La baryte ou barytine

IV.	Etude de la baryte ou barytine.....	51
IV.1.	Le Baryum (Ba)	51
IV.1.1.	Généralités	51
IV.1.2.	Propriétés physico-chimiques	52
IV.1.3.	Composés chimiques du baryum.....	52

IV.1.4.	Cycle du baryum dans l'environnement	53
IV.1.5.	Utilisation du baryum	54
IV.1.5.1.	Usages industriels	54
IV.1.5.2.	Usages agricoles	54
IV.1.5.3.	Usages domestiques et médical	54
IV.1.6.	Rejets dans l'environnement	54
IV.1.6.1.	Devenir dans l'environnement	55
IV.1.6.2.	La barite à Ain-Mimoun.....	55
IV.1.6.3.	Historique des recherches et réserves géologiques	56
IV.1.6.4.	Etude géologique du gisement et situation Géographique.....	56
IV.1.6.5.	Composition chimique du minerai d'Ain Mimoun	57
IV.1.6.6.	Les caractéristiques physico-chimiques de la baryte	57
IV.1.7.	Domaines d'utilisation	59
IV.1.7.1.	L'industrie pétrolière	59
IV.1.7.2.	L'industrie chimique	60
IV.1.7.3.	L'industrie des charges minérales	60
IV.1.8.	La pollution au baryum dans les compartiments de l'environnement	60

Chapitre V

Zone d'étude

V.1.	Présentation générale de la zone d'étude.....	62
V.1.1.	Description générale et localisation de la wilaya de Khenchela	63
V.2.	La zone d'étude	64
V.2.1.	Caractéristiques de la zone d'étude	64
V.2.1.1.	Situation géographique.....	64
V.2.2.	Caractères géomorphologiques	64
V.2.2.2.	Pente	65
V.2.2.3.	La géologie	67
V.2.2.4.	Caractères pédologiques	67
V.3.	La richesse floristique et faunistique	67
V.3.1.	La richesse floristique	67
V.3.1.1.	Répartition générale des terres	68
V.3.1.2.	L'agriculture	69
V.3.2.	La faune	69
V.3.3.	La vie aquatique.....	69

V.4.	Définition de la climatologie dans l'étude de l'environnement	70
V.5.	Définition et place de la bioclimatologie dans l'étude de l'environnement...	70
V.5.1.	Rôle et importance de la bioclimatologie	7
V.6.	Etude climatique	71
V.6.1.	Le climat	71
V.6.1.1.	Principaux types de climats	71
V.6.2.	Les climats de montagnes	71
V.6.2.1.	Relief et climat	72
V.6.2.2.	Eléments et facteurs du climat	72
V.6.2.3.	Evaporation	75
V.6.2.4.	Evapotranspiration.....	76
V.6.2.5.	L'humidité	77
V.6.2.6.	Le vent	78
V.6.3.	Les indices climatiques	79
V.6.3.1.	Indice d'aridité de De Martonne	79
V.6.3.2.	Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls	79
V.6.3.3.	Quotient et climagramme pluviométrique d'Emberger	80
	Conclusion	82

Chapitre VI

Matériel et méthodes

VI.1	La justification de choix de site	83
VI.2.	Matériels utilisés	83
VI.2.1.	Le GPS	83
VI.2.1.1.	Les applications du GPS	84
VI.2.3.	Spectrophotométrie "domaine UV/visible"	84
VI.2.3.1.	Définition.....	84
VI.2.3.2.	Principe du Spectrophotométrie UV/visible	85
VI.2.3.3.	Applications de la spectroscopie UV-Visible	85
a.	Analyse qualitative	85
b.	Analyse quantitative	85
c.	Autres applications	85
VI.3.	Les stations de prélèvement	85
VI.3.1.	Station 1	86
VI.3.2.	Station 2	87

VI.3.3.	Station 3	88
VI.3.4.	Station 4	89
VI.3.5.	Station 5	89
VI.4.	Mode d'échantillonnage	90
VI.4.1.	Paramètre mesuré	90
VI.5.	Paramètre chlorophylle	91
VI.5.1.	Dosage de la chlorophylle	91
VI.5.1.1.	Principe	91
VI.5.2.	Analyse statistique	93

Chapitre VII

Résultats et discussion

VII.1.	Résultats du dosage de la chlorophylle.....	97
VII.1.1.	Teneur en chlorophylles (Chl)	97
VII.1.2.	Teneurs en chlorophylle totale	98

Conclusion générale

Perspectives

Références Bibliographiques

Introduction

La forêt est définie comme étant un écosystème dans lequel les arbres prédominent au point de modifier les conditions écologiques qui règnent dans le sol, en créant un microclimat spécial (Dajoz, 1980).

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 elle est clairsemée en formation ouverte, entrecoupée par de nombreux vides et les forêts méritant leur appellation sont plutôt rares (Fosa, 2000).

La pollution atmosphérique est l'une des pollutions les plus étudiée à l'heure actuelle et l'un des problèmes majeurs de notre société. Quand on considère que chaque individu (adulte) respire 15000 litres d'air par jour (S Tewari et al., 2008), on conçoit que le maintien de sa qualité naturelle figure au premier plan de nos préoccupations. 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, dont la végétation est 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'aire, protégeant le sol contre l'érosion et améliorant la qualité de l'eau, en plus d'un rôle socio-économique important (S Tewari et al., 2008).

Les chênes participent, et même constituent pratiquement 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 où elle occupe actuellement entre 354 000 ha et 433 000 ha dont une partie est sous forme de taillis (Barbero et al., 1992). Il est normalement adapté aux conditions continentales et altitudinales entre le semi aride et le subhumide, il peut monter en altitude jusqu'à la limite de 1600 m où il est en concurrence direct avec le cèdre. La limite

septentrionale de cette aire de distribution semble résulter de la concurrence avec des espèces mieux adaptées, plutôt qu'une inadaptation aux conditions climatiques, car l'amplitude écologique du chêne vert demeure importante sur le plan climatique et édaphique (Barbero et al., 1992).

Notre travail consiste à utiliser une espèce végétale pérenne bio-indicatrice, ligneuse, pour la biosurveillance de la pollution atmosphérique pouvant être causée par les aérosols et les polluants résultant des activités anthropiques.

A la lumière de toutes ces raisons, nous avons choisi d'étudier l'impact d'une source de pollution sur la réponse bioclimatique de notre espèce *Quercus ilex* à savoir l'usine de transformation de la barytine (SOMIBAR). La problématique se résume alors sur l'impact, s'il existe, sur la synthèse des chlorophylles sous l'effet des rejets de l'industrie de baryum implantée au cœur du forêt et représentant une source de pollution.

Après une **introduction générale**, le mémoire s'articule en trois principales parties :

- La première partie repose sur une "**Synthèse bibliographique**" qui vise à définir et caractériser la monographie du chêne vert, suivie d'un aperçu sur la chlorophylle et la photosynthèse, et la pollution de l'air de façon générale en précisant l'aspect relatif aux aérosols de pollution.

La deuxième partie, "**Matériel et méthodes**", décrit la zone d'étude à savoir la région de Khenchela, en donnant un aperçu sur la situation géographique, la faune et la flore ainsi que la climatologie. Cette description permet de justifier le plan d'échantillonnage, notamment la localisation des stations de prélèvements. Il expose ensuite l'intégralité de la méthode utilisée au cours de ce travail, de l'échantillonnage à l'analyse pour atteindre les objectifs visés : préparation du matériel d'échantillonnage et de localisation par GPS, le mode de prélèvement, et les mesures au laboratoire par spectrophotométrie UV/visible.

La troisième partie, "**Résultats et discussion**" s'attache aux résultats obtenus et leurs traitements tout en comparant avec les résultats obtenus soit sur le niveau national ou international, par les travaux antérieurs.

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

Chapitre I

Monographie du Genre *Quercus*

On rencontre le chêne comme arbres ou arbrisseaux (Figure I-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 I-1 : Arbre et arbuste du chêne vert utilisés

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. Une dizaine de Chênes sont spontanés en France, répartis en trois sous-genres dans les limites desquels les hybridations sont fréquentes (Lieutaghi, 2004).

Le chêne vert est une espèce à vaste répartition, les formations les plus âgées se rencontrent en Asie centrale ; il s'étend depuis la Grande Bretagne jusqu'en Himalaya (Boudy, 1955).

Quercus ilex se trouve principalement dans la partie occidentale du bassin méditerranéen et voit son aire de distribution diminuée dans la partie centrale du bassin pour disparaître totalement dans la zone orientale. La limite septentrionale de cette aire de distribution semble résulter de la concurrence avec des espèces mieux adaptées, plutôt que d'une inadaptation aux conditions climatiques, car l'amplitude écologique du chêne vert est très importante tant du point de vue climatique (thermique et hydrique) qu'édaphique (Barbero et al., 1992).

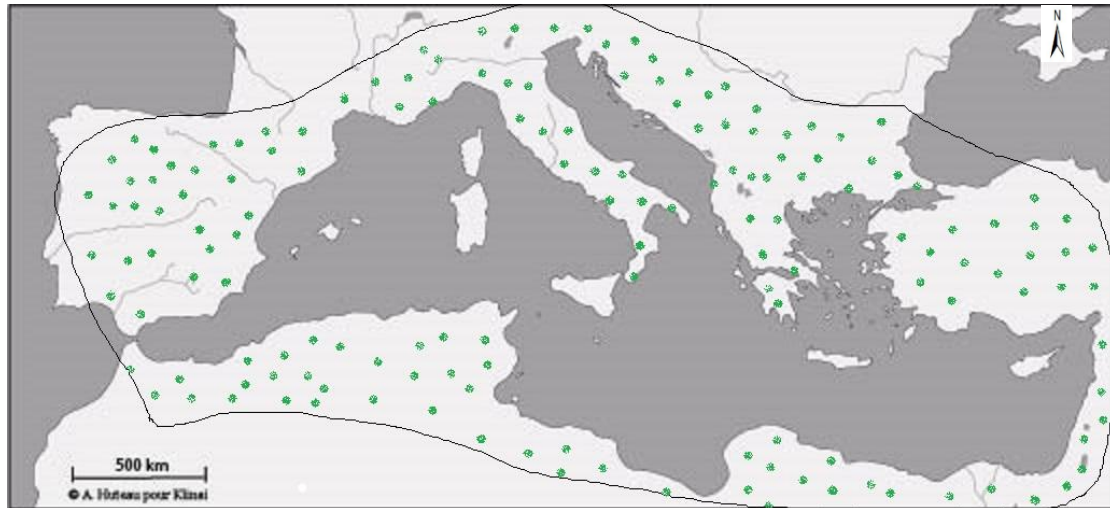


Figure I-2 : Distribution de *Quercus ilex* dans le Bassin Méditerranéen (Caudullo, 2017)

Il est difficile de donner une statistique de la répartition de cette espèce parfois disséminée, parfois mélangée et souvent très dégradée. C'est seulement pour le bassin occidental de la Méditerranée que l'on peut avancer des chiffres, avec beaucoup de prudence notamment quand il n'y a pas d'inventaire forestier, cependant, on a 2890.000 ha en Espagne; 1340.000 ha au Maroc ; 530.000 ha au Portugal; 380.000 ha en Italie; 350.000 ha en France et 80.000 ha en Tunisie. L'Algérie occupe la troisième position avec 680.000 ha de superficie (Barbero et al., 1992).

I.1.1. Répartition géographique en Algérie

Quercus ilex s'étend sur presque tout le bassin méditerranéen, parfois il le déborde. C'est cependant dans le bassin occidental de la Méditerranée qu'il est le plus répandu (Figure I-2). Il occupe une très grande partie de la surface forestière algérienne ; on le trouve partout, aussi bien sur l'Atlas saharien que l'atlas Tellien où il forme de belles forêts en Kabylie et sur les monts de Tlemcen (Figure I-3). Les plus importantes chênaies sont localisées en Oranie, en peuplements purs ou mélangés avec le pin d'Alep dans la région de Tiaret, et de Saïda. Il se trouve sous forme de futaies âgées dans la région de Tlemcen (Figure I-3).

On rencontre le chêne vert sur les régions côtières, les massifs montagneux, littoraux et l'Atlas Tellien inclus dans le domaine Maghrébin-Méditerranéen où il se mélange au cèdre, au chêne zeen et au chêne afares ; dans l'étage humide frais (Barry et al., 1976) (Figure I-3).

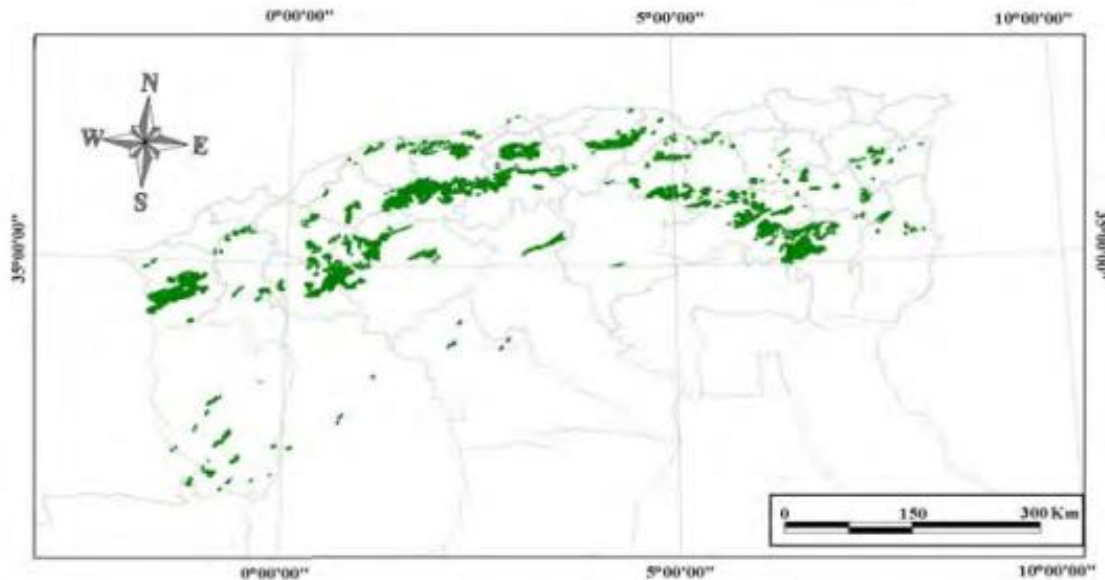


Figure I-3 : Répartition du chêne vert en Algérie (DGF, 2007) modifié

Dans l'étage sub-humide, il entre en concurrence avec le chêne liège, sur sol silicieux, ou encore avec le pin d'Alep. Dans son faciès continental, de l'étage semi-aride froid et frais lié au domaine maghrébin-steppique, il se mélange au pin d'Alep et au genévrier rouge. Dans la variante tempérée du semi-aride, il entre en contact avec le thuya, principalement dans les Aurès (Figure I-3) (Barry et al., 1976).

I.2. Phénologie du chêne vert

Les caractéristiques dendrométriques et la phénologie du chêne vert ont fait l'objet d'études très réputées pour leur valeur, telle que celles réalisées par Débeaux en 1894 et Boudy en 1950. C'est une essence forestière qui possède ses caractéristiques morphologiques propres et ne peut être confondue avec les autres chênes. L'arbre du chêne vert a des feuilles persistantes, petites, pubescentes à la face inférieure ; leur chute n'a jamais lieu simultanément et se produit au commencement de leur troisième année (Débeaux, 1894 et Boudy, 1950).

La floraison du chêne vert est monoïque, les glands se forment dans l'année. Ils sont amers dans le Nord, doux et comestibles dans les régions Sud. Les arbres les portant sont appelés généralement chênes ballots. La fructification de l'espèce est annuelle, elle débute vers l'âge

de 12 ans, mais elle n'est suffisante et soutenue qu'à partir de 25 à 30 ans. Elle ne devient abondante qu'entre 50 et 100 ans. Le chêne vert est polymorphe, il s'hybride facilement, notamment avec le chêne liège et le chêne kermès.

Le chêne est un arbre de taille moyenne, il atteint 8 à 10 m de hauteur en général mais dans certaines régions, il peut atteindre 20 à 22 m et 2 à 3 m de tour du tronc. La cime est ovale, arrondie, mais prend la forme élancée, ou même en chandelle, dans les peuplements serrés. Le tronc est plus ou moins contourné, on ne peut utiliser le fût comme bois d'œuvre sur plus de 5 à 6 m ; 8 à 10 m de fût est un grand maximum. L'enracinement est pivotant sur sol profond, mais il a aussi de nombreuses et puissantes racines latérales. Dans les premières années, la croissance du système racinaire est bien plus rapide que celle de la partie aérienne.

C'est une espèce longévive pouvant atteindre 300 ans facilement. En moyenne, sa longévité est de 200 à 250 ans dans les étages humides ; en étage semi-aride et dans les conditions de sol défavorables, sa longévité ne dépasse pas 150 ans. Sa viabilité physiologique est remarquable. Il repousse vigoureusement de souche et émet très longtemps des drageons de racines. Il rejette jusqu'à l'âge de 150 ou 200 ans selon les conditions du milieu.

Le bois du chêne vert, de couleur rougeâtre, est extrêmement dur, compact et homogène. Les accroissements s'observent difficilement, il est donc délicat chez certains vieux arbres de distinguer les cernes et de déterminer l'âge. C'est l'un des bois les plus lourds et sa densité varie de 0,90 à 1,18. Le poids du stère empilé vert est compris entre 600 et 650 kg et celui du stère de bois sec entre 500 et 550 kg. Il est sujet à se déjeter et à se fendre en se desséchant. C'est un remarquable combustible, dégageant une chaleur considérable et fournissant un charbon de première qualité.

La régénération du chêne vert est assurée par semis naturels ou par rejets de souches et drageons. La fructification est évidemment 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 selon Boudy (1950), en montagne, dans de mauvaises conditions écologiques les glandées sont plus rares (tous les 3 ou 4 ans). L'ensemencement naturel ne joue qu'un rôle très effacé dans la régénération des peuplements de chêne vert, dits aussi ilicaies. En outre, le jeune brin de semence se développe très lentement et dans les premières années, il pousse surtout en profondeur (Débeaux, 1894 et Boudy, 1950).

Dans les forêts sèches, la régénération par semis fait pratiquement défaut, c'est le cas des taillis dégradés où la régénération par semis est inexistante. En fait, la forêt de chêne vert se régénère à peu près exclusivement par rejets de souches et drageons de racines, on s'en convaincra aisément en constatant que les hauts peuplements sont tous des futaies sur souches (Débeaux, 1894 et Boudy, 1950).

I.3. Ecologie et potentialités du Chêne

Le chêne vert montre des potentialités et une adaptabilité très élevées. C'est une espèce très plastique qui s'accommode, dans un contexte méditerranéen (Emberger, 1955) de conditions climatiques et édaphiques variées. Son adaptation au stress climatique lui permet de survivre avec un minimum pluviométrique de 250 mm (Barry et al., 1976) et de supporter des extrêmes thermiques allant de -15 °C à plus de 42 °C (Sauvage, 1961).

Sur le plan édaphique ; outre son indifférence à la nature chimique du substrat (Quezel, 1979) il se retrouve depuis les sols profonds forestiers aux sols peu évolués squelettiques, ne fuyant que les sols lourds ou hydromorphes (Achhal, 1979).

Le chêne vert se distingue par sa grande résistance aux perturbations, liée vraisemblablement :
- A sa capacité de rejeter des souches qui s'accroît avec l'intensité des perturbations (Barbero et al. 1990 cité par Zitouni, 2010). Cette faculté de rejeter semble diminuer avec l'âge du taillis.

Au cours de son vieillissement, on observe une diminution du nombre de cépées et du nombre de rejets par cépée (Miglioretti, 1987 cité par Zitouni, 2010) en raison d'une compétition inter et intra-cépée qui affecte les brins et les cépées les moins vigoureux. Par ailleurs, l'existence d'une compétition interspécifique qui se fait au détriment des espèces arbustives et arborescentes subordonnées au chêne vert favoriserait avec l'âge, la tendance monospécifique du taillis de chêne vert (Ducrey, 1996 cité par Zitouni, 2010).

De nombreux auteurs évoquent une rupture du cycle biogéochimique durant la première année, liée à l'absence de restitution au sol par le biais des retombées de litière et à l'accélération de la décomposition de la litière au sol (Merzouki et al., 1989 cités par Zitouni, 2010). Mais dès la troisième année, ils observent une restauration des conditions micro-climatiques propres au taillis et par conséquent une récupération des potentialités initiales.

Au niveau de la production ligneuse, le chêne vert est réputé pour sa qualité de combustible, mais son utilisation a nettement diminué avec son remplacement par le gaz. Le BNEF (1984), estimant la production annuelle de bois à charbon à 1.000.000 de stères, préconise son exploitation à grande échelle dans un but d'exportation. Des précautions sont à prendre pour adapter le mode de traitement aux potentialités réelles des chênaies et préserver ainsi le capital biologique (type d'éclaircie, durée des rotations tenant compte de l'optimum biologique (Santelli et Amandier, 1996 cités par Zitouni, 2010).

La production du chêne vert est estimée à 1m³ /ha/an (Quezel, 1979). Il semble toutefois, que la croissance du chêne vert, bien que lente, se caractérise par sa continuité dans le temps. Le chêne vert ne présentant pas de fléchissement de sa croissance, permettrait d'envisager une autre gestion de son exploitation avec des rotations plus longues (Romane, 1987 cité par Zitouni, 2010).

La croissance en hauteur et en épaisseur du chêne vert passe par un maximum dès les premières années, elle diminue ensuite avec l'âge et se stabilise vers 40 à 60 ans, avec un accroissement moyen annuel de 5 cm en hauteur et de 3 mm en épaisseur. L'accroissement du chêne vert est toutefois moindre en conditions plus arides (Ducrey, (1996) cité par Zitouni, 2010).

La réhabilitation de la place du chêne vert par la valorisation de sa biomasse pour deux principales possibilités d'utilisations économiques (production pastorale et production ligneuse) doit s'ajouter à sa valeur écologique dans la protection du sol contre l'érosion par la capacité de résistance. Son utilisation dans les actions de lutte contre la désertification est donc à envisager. Pour la germination, sa réussite dépend des précipitations printanières et estivales. En milieu fermé, la faible luminosité constitue un frein à la germination, en condition de sécheresse. La capacité de rétention en eau des sols détermine la survie des plantules. A ce stade de croissance, le pâturage bovin peut constituer un blocage à la régénération, si la charge animal est trop élevée (Panaiotis, 1996 cité par Zitouni, 2010).

Sur le plan phytosanitaire, le chêne vert est exposé aux problèmes de dépérissement (défoliation, perte de vigueur, dessèchement, mortalité) provoqués par des agents abiotiques.

I.4. Famille botanique du Genre *Quercus*

Le chêne, dont le nom scientifique est *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 des fleurs unisexuées), comme les Bétulacées, appartient au groupe des Amentifères (Lieutaghi, 2004).

I.4.1. Caractères du genre *Quercus*

I.4.1.1. Description : Il existe au moins 500 espèces de chênes, qui peuvent atteindre jusqu'à 45 m (chêne pédonculé) ou être rabougris (chêne vert, 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 périanthe 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 fruits bien connus (glands) sont enveloppés à la base par l'involucre fructifère en forme de coupe, la cupule est recouverte à l'extérieur, de nombreuses écailles imbriquées. 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.4.1.2. 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 I-4) (Lieutaghi, 2004).



Figure I-4 : Feuilles de *Quercus* sp (Lieutaghi, 2004)

I.4.1.3. Fleurs

Les fleurs mâles, des 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.

I.4.1.4. Fruits

Le gland est un akène plus ou moins profondément inséré dans une cupule garnie d'écaillés parfois épineuses. Il tombe de lui même (quittant sa cupule) quand il est mûr, en septembre (Figure I-5) (Lieutaghi, 2004).



Figure I-5 : Fruits du chêne vert (Rabaa, 2008)

a) Glands du chêne pédonculé

b) glands du chêne vert

I.4.1.5. Pollens : la taille du pollen est comprise entre 20 et 40 μm . les grains sont tricollés subtriangulaires, exine ornementés de verrues de taille irrégulière. La Pollinisation a lieu au cours des mois d'avril et mai. Elle est anémophile.

I.5. Le chêne vert (*Quercus ilex* L.)

Le chêne vert est l'arbre emblématique des collines de Méditerranée. Comme ses proches cousins tels que chêne-liège, chêne kermès, calliprinos, zéen, chêne du Portugal... il témoigne des stratégies de résistance des plantes au difficile climat méditerranéen. Rognées depuis des siècles par les défricheurs, dévastées par les incendies, ces chênaies peuplent encore de vastes espaces, riches de multiples ressources dont les hommes de la Méditerranée ont su très tôt tirer parti : liège, bois, cendres, tan, coche nille, sans oublier la précieuse truffe. Puiser dans la mémoire de ces forêts tenaces permet tout à la fois de mieux comprendre les prodigieuses facultés d'adaptation des végétaux, et de porter un regard neuf sur l'histoire mêlée de la Méditerranée et des peuples qui l'habitent (Rabaa, 2008).

I.5.1. Caractères généraux du chêne vert

Le chêne vert est très polymorphe. Aussi est-il difficile de le décrire avec précision. Pourtant on l'identifie facilement car il est l'un des rares chênes à feuilles persistantes. On le distingue bien de *Quercus suber*, lui aussi à feuilles persistantes mais caractérisé par son écorce. On le distingue de *Quercus coccifera* dont les feuilles, également persistantes, sont petites et piquantes, et dont la fructification est bisannuelle. Parfois, cependant, on a signalé bien à tort la présence de chênes verts là où n'existait que le chêne Kermès (Rabaa, 2008).

I.5.2. 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. Il peut dépasser 20 m en profondeur. On trouve des arbres de 25 à 30m de hauteur, et de plus de 3 m de circonférence.

Le *Quercus ilex* (yeuse) peut atteindre 15 m de hauteur, parfois même 25 m. Le tronc est généralement peu élevé par rapport à la hauteur de l'arbre, 2 à 3 m. 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.5.2.1. Les feuilles

Elles restent sur l'arbre pendant plus d'une année, parfois jusqu'à la troisième et même la quatrième année. Elles sont coriaces, concaves, ne se plient pas selon la nervure centrale. Leur forme et taille sont variables : elliptiques, lancéolées, arrondies, longues de 2 à 9 cm, large de 1 à 4 cm ou plus (Figure I-6). 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 I-6 : Feuille de chêne vert utilisées

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. Elles portent 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).

I.5.2.2. 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.5.2.3. Les chatons des fleurs mâles sont allongés et pubescents, très abondants et parfois recouvrent entièrement l'arbre d'une couleur jaune à reflets roux (Figure I-7).



Figure I-7 : Inflorescences du chêne vert

I.5.2.4. Les fruits (glands) 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 I-8). 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.

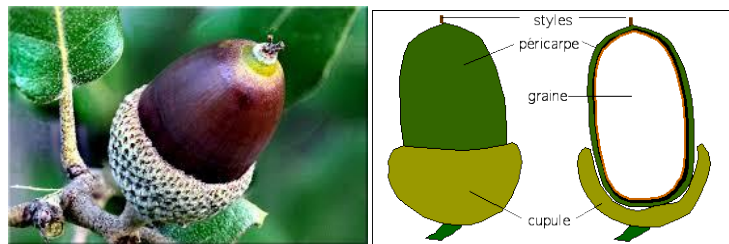


Figure I-8 : fruits du chêne vert (Boudy, 1952)

I.5.3. 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 : Fagacées ou cupulifères, au Genre *Quercus* et à l'Espèce : *Quercus ilex* (Boudy, 1952).

I.5.4. Développement et cycle végétatif

Les plants un peu âgés se transplantent difficilement. L'arbre est adulte vers 12 ou 15 ans, sa hauteur d'adulte sera fonction des conditions plus ou moins favorables de son environnement, buisson dans les conditions extrêmes ; il se développe ensuite en largeur. Chez les jeunes plants, la racine pivotante est déjà très développées (60 à 80 cm) et s'enfonce profondément dans le sol, ses racines secondaires sont courtes puis se développent lui permettant ainsi de supporter la sécheresse (Boudy, 1952).

I.5.5. Caractères climatiques du chêne vert

Le chêne vert est une essence robuste, très plastique, qui s'accommode à différents types de climats (Sauvage, 1961). Il supporte autant les froids hivernaux que les grandes sécheresses estivales. En effet, le chêne vert peut supporter un indice xérothermique de 0 à 150 .

Vis-à-vis de la température, le chêne vert supporte une variation de température minimale "m" allant de -3 °C à + 7 °C, atteignant une valeur de -7 °C au Maroc ; la limite inférieure extrême étant de -15 °C. Il résiste à des températures maximales (M) pouvant atteindre 42 °C (Alcaraz, 1970).

Quant aux précipitations, il admet une tranche pluviométrique variant de 384 mm à 1462 mm (Sauvage, 1961) ; mais il peut supporter un minimum de 250 mm selon (Barry et al., 1976). Le tri des espèces par le froid placerait le chêne zéen et le chêne vert en tête ; suivis en ordre décroissant par le pin d'Alep, l'alfa, le thuya et le chêne liège (Alcaraz, 1970).

Pour les précipitations, le classement serait le suivant : chêne zéen, chêne liège, chêne vert, oleastre et thuya (Sauvage, 1961). Son aptitude à s'accommoder à des conditions climatiques variées permet aussi de couvrir plusieurs étages bioclimatiques semi-aride, sub-humide dans leurs variantes froides, fraîches et tempérées et même très froides.

Dans l'étage semi-aride, il représente le type xérophile de la chênaie verte, localisée en Algérie, dans les Aurès et les montagnes du sud Oranais. Mais c'est dans les étages sub-humide et humide qu'il connaît son plein développement en peuplant de vastes massifs forestiers surtout dans la partie occidentale de l'Algérie.

I.5.6. Caractères édaphiques du chêne vert

Le chêne vert présente une grande plasticité édaphique. Il est indifférent à la composition chimique du substrat (Maire, 1926 ; Boudy, 1952 et Quezel, 1976, 1979). En effet, en Algérie on le rencontre sur grès, calcaires, marno-calcaire, dolomies et schistes. Il s'accommode sur tous les types de substrat siliceux ou calcaire et de sols superficiels ou profonds. Cependant le chêne vert, comme les principales essences forestières, fuit les substrats mobiles et les sols hydromorphes (Achhal, 1979).

I.5.7. Exigences climatiques

I.5.7.1. Lumière : Le chêne vert aime les endroits ensoleillés mais s'accommode d'un certain couvert en présence de pins (Sauvage, 1961).

I.5.7.2. Chaleur : Il résiste au froid, pouvant atteindre - 20° mais vit très bien sous un climat doux, avec des hivers tièdes et des étés chauds.

I.5.7.3. Eau : Il s'accommode à un été sec et chaud ou assez pluvieux et frais. Braun-Blanquet a constaté que sa transpiration l'été était réduite mais qu'elle était importante pendant l'hiver,

même à des températures proches de zéro, ce qui constitue un danger pour les jeunes pousses ou les jeunes plants.

I.5.7.4. 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).

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 environ, 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).

Cette double fonction permet la transformation du bioxyde de carbone et de l'eau en molécules organiques, c'est-à-dire photosynthèse, leur rôle de sensibilisateurs de réactions enzymatiques à l'énergie lumineuse fut longtemps traduit par l'expression d'assimilation chlorophyllienne, premier nom de la photosynthèse (Hopkins, 2003).

II.1.1. Les plastes

Le terme de plaste vient du grec plastikos. Le plaste 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.1.1.1. Voie de développement des plastes

Dans les jeunes pousses vertes, le mode de différenciation le plus courant est celui du proplaste non pigmentés (A) se transformant en jeunes chloroplastes (B) puis en chloroplastes verts matures (C). la répllication des plastes peut intervenir à n'importe quelle phase, mais elle est toutefois particulièrement commune chez les proplastes et les jeunes chloroplastes (D1,D2). Dans les pousses croissantes dans l'obscurité (ou dans les cellules protégées de la lumière par des couches de tissu), se forment des étioplastes (E), qui se différencieront (F) en chloroplaste (C) dès qu'il seront exposés à la lumière. Dans les racines (ainsi que la plupart des cellules épidermiques de la tige), les proplastes et les amyloplastes donnent naissance à des leucoplastes (G) dépourvu de pigments (Figure II-1) (Weinman et Méhul, 2004).

Les chromoplastes (H) renferment des pigments rouges, oranges ou jaunes ; ils se différencient soit directement à partir de proplastes, soit à partir d'amyloplastes ou de chloroplastes dégénérés. Une blessure dans le tissu peut provoquer la division des chloroplastes et des

amyloplastes matures, et leur dérivé régressant parfois au stade de proplastés. On a également la transformation de chromoplastes en chloroplastes (Figure II-1) (Bowes et Mauseth, 2012).

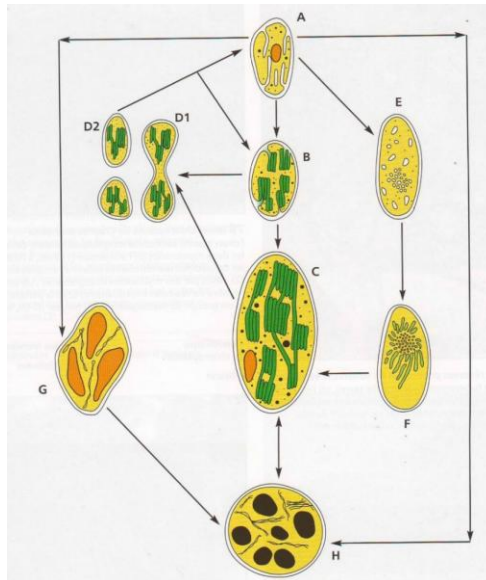


Figure II-1 : Principales voie de développement du plastide (Bowes et Mauseth, 2012).

II.1.2. Les proplastés

Ces éléments non différenciés, précurseurs des autres plastés, sont de forme sphérique ou amiboïde. Ils ne dépassent habituellement pas 1 à 2 μm de large contiennent peu de membranes internes. Les proplastés se rencontrent dans les cellules méristématiques et on dénombre jusqu'à 40 par cellule dans l'apex racinaire. Les proplastés se divisant eux-mêmes, leur nombre demeure à peu près constant dans les cellules formées par les nombreuses divisions cellulaires des méristèmes apicaux. En règles 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 plastés spécifiques (Weinman et Méhul, 2004).

II.1.3. Les chloroplastes

Au stade adulte, ils sont normalement oblongs lenticulaires (figure II-1) et mesurent 5 à 10 μm de long. Les membranes de leur enveloppe sont séparées par un espace de 10 à 20 nm de large (figure II-2) (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 de plaste et forment normalement un système photosynthétique tridimensionnel complexe qui se compose de

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 emplies et chaque membrane granaire renferme un espace intrathylakoïde (figure II-2) (Bowes et Mauseth, 2012).

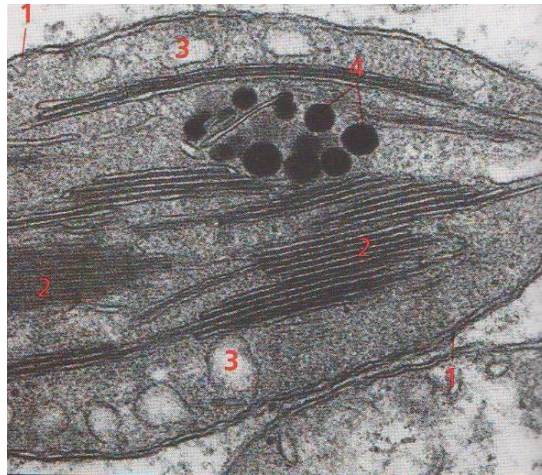


Figure II-2 : Un jeune chloroplaste (Bowes et Mauseth, 2012)

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.1.4. Les pigments chlorophylliens

II.1.4.1. 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 structure remarquables caractérisent cette molécule : un noyau tétrapyrrolique ou chlorine, contenant un atome de

magnésium 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 II-3) (Weinman et Méhul, 2004).

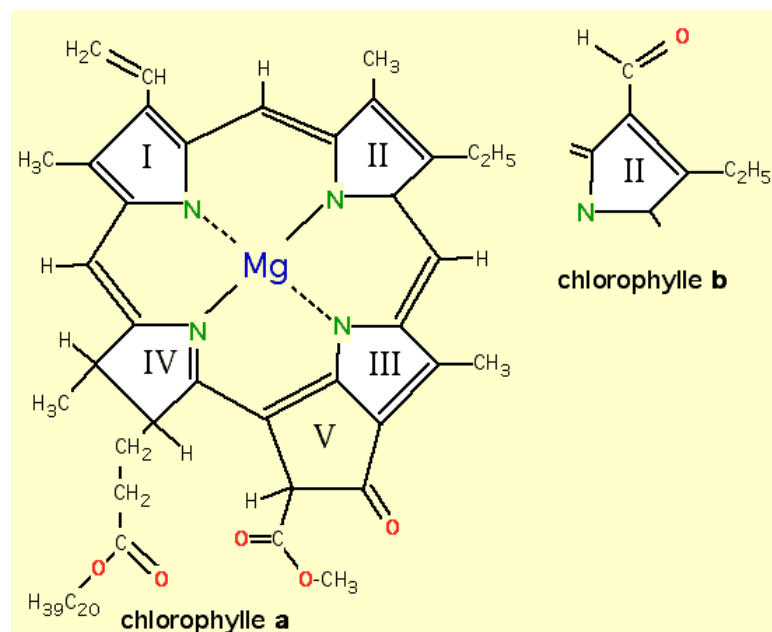


Figure II-3 : Structure des molécules de chlorophylles a et b
(Farineau et Morot-Gaudry, 2006)

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 non seulement ancre mais aussi oriente la molécule de chlorophylle dans la bicouche de la membrane (Figure II-3) (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 II 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 II-3). La fonction carboxyle associée au noyau IV est estérifiée par l'alcool à très longue chaîne en C_{20} : le phytol. L'ensemble de la molécule de la chlorophylle est amphiphile. Dans la membrane des thylacoïdes, les chlorophylles sont associées à des protéines et forment des complexes protéines-pigments (Farineau et Morot-Gaudry, 2006)

II.1.5. Structure et propriétés chimiques de la chlorophylle

La chlorophylle est le principal pigment responsable de la capture de l'énergie lumineuse utilisée dans la photosynthèse. 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 (Féret, 2009).

La molécule de la chlorophylle est constituée de deux moitiés, une tête formée d'une porphyrine et en longue queue d'hydrocarbures ou phytol. Une porphyrine est un groupement cyclique tétrapyrrolique, constitué de quatre noyaux pyrrole contenant d'un atome d'azote et disposé en cycle (Figure II-4). Les porphyrines sont des composés ubiquistes dans les organismes vivants ; elles constituent le groupement hémique de l'hémoglobine des mammifères ainsi que des pigments photosynthétique et respiratoires, les cytochromes.

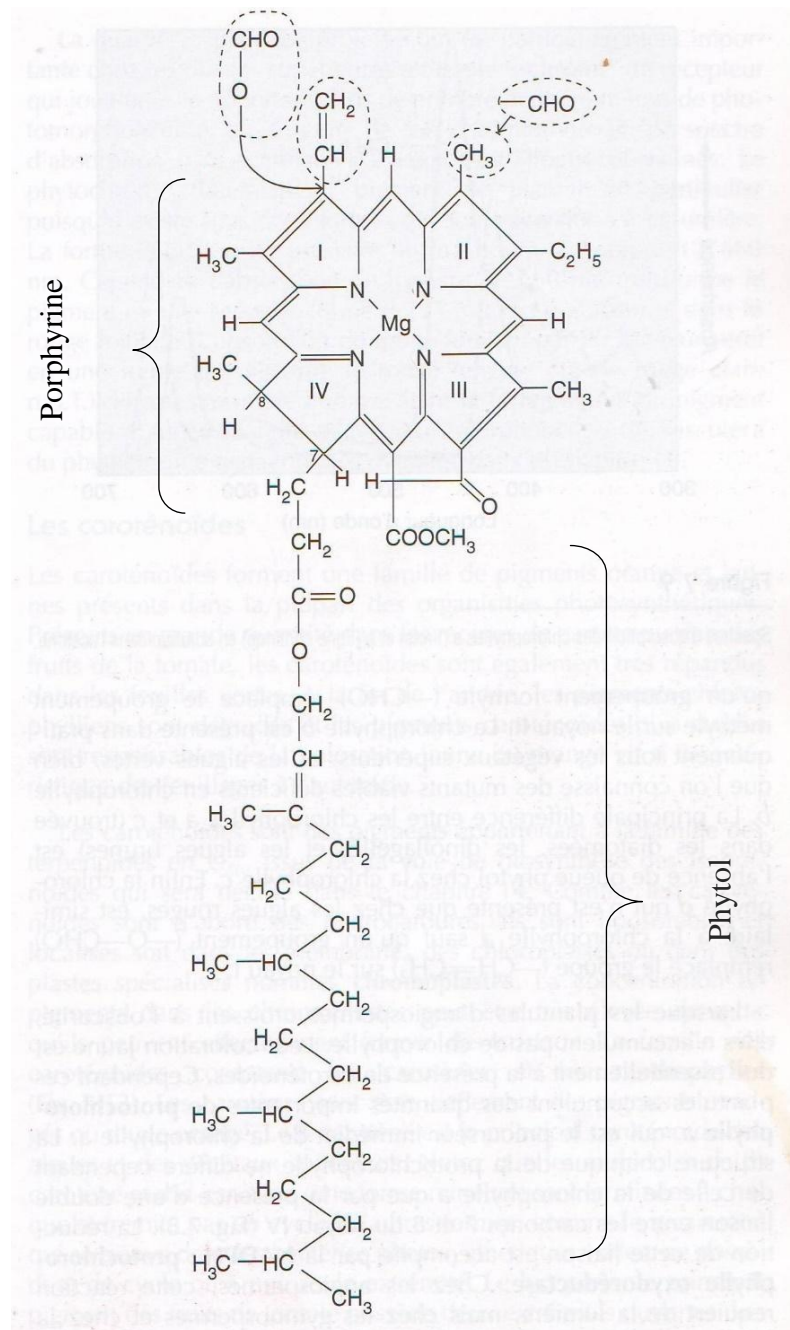


Figure II-4 : Structure de la chlorophylle (Hopkins, 2003).

Dans la chlorophylle, le pigment phytol, un alcool à 20 atomes de carbone est relié par une liaison ester au noyau de la porphyrine. Cette longue queue liposoluble d'hydrocarbures est un dérivé de l'isoprène, molécule à 5 atomes de carbone, précurseur d'une foule de molécule importante, comprenant d'autres pigments (carotènes) (Figure II-4) (Hopkins, 2003).

La molécule de chlorophylle comprend un ion magnésium Mg^{2+} formant un chélat avec les quatre atomes d'azote au centre du cycle. Quatre types de chlorophylles dénommées

chlorophylles a, b, c, et d sont connues. La structure chimique de la chlorophylle a, le principal pigment photosynthétique chez toutes les plantes supérieures (Figure II-4).

La structure de la chlorophylle b est identique sauf qu'un groupement de formule (-CHO) remplace le groupement méthyle sur le noyau. La chlorophylle b est présente dans pratiquement tous les végétaux supérieurs et les algues vertes. La principale différence entre la chlorophylle a et c l'absence de queue phytol chez la chlorophylle c. Enfin, la chlorophylle d qui n'est présente que chez les algues rouges, est similaire à la chlorophylle a sauf qu'un groupement (-O-CHO) remplace le groupe (-CH=CH₂) sur le noyau (Hopkins, 2003).

II.1.6. 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.1.7. La chlorophylle et la pollution de l'air

L'exposition des plantes à l'ozone a causé l'altération de la feuille donc la dégradation de la Rubisco et de la chlorophylle. Les effets négatifs de l'ozone sur la croissance ont été rapportés dans plusieurs arbres. Cependant les mécanismes responsables de ces réductions de croissance ne sont pas complètement compris. Photosynthèse détériorée, activité et quantité de la Rubisco diminuée, diminution du contenu des chlorophylles et stomates sont souvent des phénomènes amputables à l'ozone des usines (Paakkonen, 1996).

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.2. La photosynthèse

A la différence des animaux, la plupart des végétaux possèdent des plastes. Il existe quelques exceptions : les champignons ou mycomycètes en sont dépourvus. Les plastes sont distincts des mitochondries par leur taille, leurs structures et leurs fonctions. On distingue les leucoplastes non pigmentés, les chromoplastes riches en caroténoïdes, et les chloroplastes (Hopkins, 2003).

Les pigments chlorophylliens, composés organiques liés au magnésium sont engagés dans différents complexes lipoprotéiques membranaires des chloroplastes des cellules végétales, les bactéries phototrophes possèdent également des chlorophylles spécifiques (bactériochlorophylles). Ces pigments réalisent les premières étapes de photosynthèse, c'est-à-dire les étapes photochimiques. Après absorption de photons, les molécules de chlorophylle sont excitées, avec transition électronique, certains de leurs électrons étant expulsés de leur orbite. Les états excités, de courte durée de vie, peuvent donner lieu à une perte d'électrons énergisés, origine d'un transfert oxydo-réducteur. Plusieurs états moléculaires de la chlorophylle assurent ainsi d'une part la collecte énergétique de photons d'autre part la réduction de transporteurs d'électrons (Lehninger, 2008).

II.2.1. La découverte de la photosynthèse

C'est l'anglais Joseph Priestly en 1771 qui, observant ce qui se passait sous une cloche de verre hermétiquement close, montra qu'une bougie incandescente s'y éteignait très rapidement et qu'une souris ne pouvait vivre longtemps sous cette cloche sans renouvellement de l'air, alors qu'une plante inversement pourrait y vivre de long mois. Croisant les facteurs expérimentaux, il remarqua aussi qu'une souris pouvait vivre longtemps sous une cloche à condition qu'une plante y soit aussi disposée. Malgré la qualité de ses expériences, Priestley ne vit pas le rôle de la lumière dans ces phénomènes. En 1771, le Hollandais Jan Ingenhousz découvrit que l'oxygène était fabriqué uniquement par les organes verts placés à la lumière. Ceci fut confirmé et complété par le prêtre français Jean Senebier en 1796 qui montra qu'en même temps que le gaz carbonique était fixé, de l'oxygène était émis. Les connaissances sur le phénomène de la photosynthèse se précisèrent grâce à Mayer qui suggéra, en 1845, que la lumière agit comme source d'énergie et à Sachs en 1846, qui découvrit de l'amidon dans les chloroplastes (Laberche, 1999).

II.2.2. Le principe de la photosynthèse

L'ensemble structural impliqué dans la photosynthèse est appelé photosystème : ce sont des groupes de plusieurs centaines de molécules de chlorophylle contenus dans un thylakoïde, ou a lieu la photosynthèse (Figure II-5). Les eucaryotes, organismes dont les cellules ont un noyau individualisé, ont deux types de photosystèmes : I et II, (P700 et P680 respectivement). Les pigments accessoires absorbant la lumière et transmettent l'énergie de molécule en molécule de la périphérie du système jusqu'au centre réactionnel qui comprend une paire de molécules de chlorophylle a spécialisée. Ces molécules sont les seules qui, lorsqu'elles sont excitées par les photons, peuvent donner des électrons à l'accepteur d'électron (I.R.D, 2001).

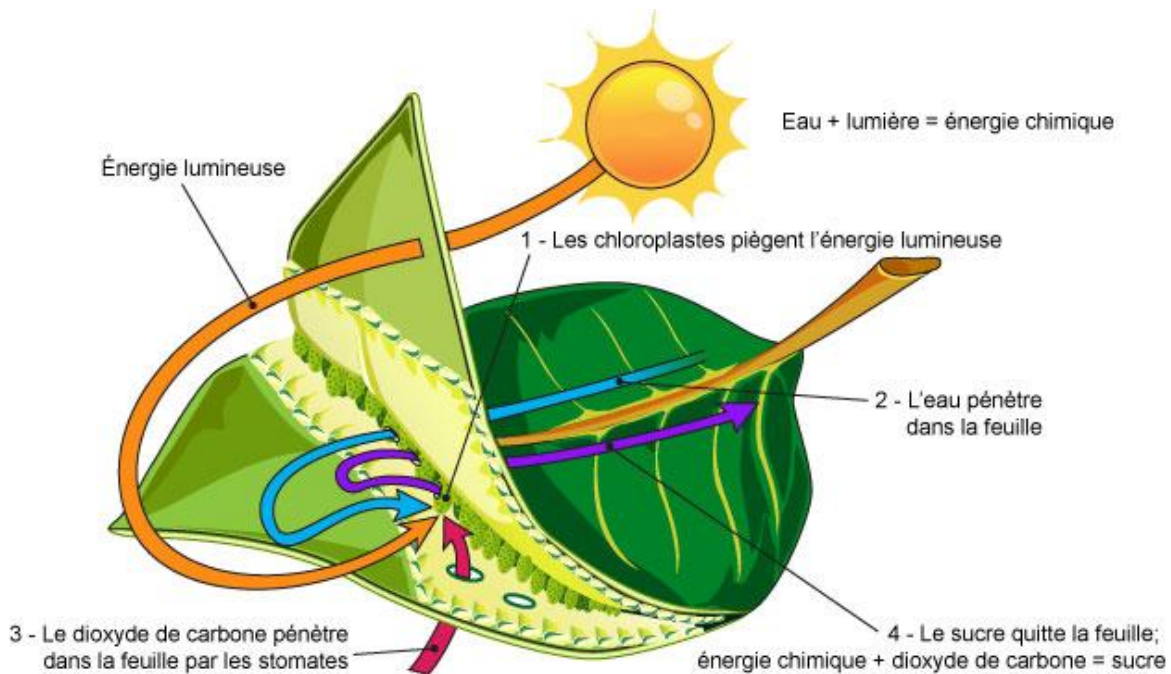


Figure II-5 : Processus simplifié de la photosynthèse dans la feuille

Les électrons excités par la lumière seront acceptés par des molécules appartenant à une chaîne de transport d'électron. Ces réactions se font dans les membranes des thylakoïdes et sont appelées réaction photochimique.

II.2.3. Mécanisme de la photosynthèse

La photosynthèse est le processus par lequel les cellules des plantes fabriquent des glucides à partir du dioxyde de carbone et d'eau en utilisant la lumière et la chlorophylle (Figure II-5). Dans les cellules des végétaux verts se trouvent des organites arrondis de couleur verte, les chloroplastes. Une photo au microscope électronique laisse apparaître à l'intérieur de ces

structures un stroma dans lequel baignent des saccules aplatis, les thylakoïdes, dont certains s'empilent à leur manière de pièce de monnaie pour former des granules. Les thylakoïdes contiennent de la chlorophylle brute qui est un complexe de plusieurs pigments photosynthétique (chlorophylle a, chlorophylle b, xanthophylle, caroténoïdes). La photosynthèse consiste en la conversion d'énergie apportée par des particules lumineuses, les photons, en énergie chimique qui se traduit par la biosynthèse de molécules organiques. Cette transformation se fait en deux étapes :

- _ Une phase photochimique marquée par la photolyse de l'eau en présence de lumière ; on l'appelle aussi phase claire de la photosynthèse-elle se déroule dans les thylakoïdes.
- _ Une phase purement chimique appelée aussi phase sombre, car elle se passe de lumière, et qui fixe du carbone prélevé dans le CO₂. Elle a lieu dans le stroma (Faurie et al., 2002).

II.2.4. La photosynthèse dans les feuilles

Les feuilles sont des structures aériennes qui doivent réaliser la photosynthèse dans des environnements hostiles. Comment les thalies des hépatiques sont plus ou moins aplatis sur leur substance, ces organismes peuplent un monde essentiellement bidimensionnel. Tout avantage acquis par une extension des surfaces d'échanges est, dans une certaine mesure, encore amélioré du fait que les thalles ont tendance à se superposer. Néanmoins, le chevauchement des thalles fait qu'ils se créent mutuellement de l'ombre, ce qui tend à diminuer l'efficacité de la photosynthèse. Au contraire les feuilles des plantes terrestres supérieures, sont généralement des structures aériennes, portées par des tiges ramifiées. Cette configuration compense en partie la tendance au chevauchement en permettant à l'organisme de se déployer dans un espace tridimensionnel. Mais si dans le même temps sont prises en compte les pertes d'eau et la perte d'un contact intime avec un substrat humide, alors l'adoption d'une telle configuration amène les structures photosynthétiques dans un environnement très hostile. Les problèmes d'apport en eau sont au moins partiellement, résolus par l'apparition d'une tige comportant des tissus vasculaires. La tige avec son réseau de conduits permet de maintenir le contact entre les feuilles, aériennes, et les tissus, possédant une fonction d'absorption dans la racine, qui demeure par ailleurs, ancrée dans un sol humide. Les tissus conducteurs assurent le transport de l'eau et des nutriments dissous depuis la racine jusqu'aux feuilles ainsi que le transport d'énergie et d'aliments des feuilles vers les racines. La structure anatomique des feuilles est telle que toute cellule photosynthétique n'est éloignée d'un cordon vasculaire que par tout au plus une, voire deux, cellules. Cette proximité des tissus et des cellules photo synthétiques signifie

l'importation de nutriments ainsi que l'exportation des produits de la photosynthèse peuvent s'accomplir signifie que l'importation de nutriments ainsi que l'exportation des produits de la photosynthèse peuvent s'accomplir rapidement et efficacement. Comme le thalle des hépatiques, les feuilles des plants supérieures terrestres sont recouvertes d'une cuticule et contiennent des pores. Cependant à la différence des pores des hépatiques qui sont inertes, les pores foliaires, nommés stomates, sont des valves hydrauliques qui peuvent contrôler leur degré d'ouverture en fonction des circonstances. Les stomates et la présence d'un système conducteur constitue tous deux les innovations structurales les plus importantes qui ont permis aux plantes, de coloniser avec succès l'environnement terrestre (Hopkins, 2003).

II.2.5. L'absorption de la lumière par les feuilles

La morphologie, l'anatomie et les propriétés optiques des feuilles sont élaborées de façon à intercepter efficacement la lumière et à la convoyer jusqu'au chloroplaste où se déroule la photosynthèse. L'architecture d'une feuille typique de plante supérieure est particulièrement bien adaptée à l'absorption de la lumière. Comme chez les hépatiques, la grande surface du limbe sert à intercepter un maximum de lumière. De plus la configuration bifaciale de la feuille, lui permet de collecter la lumière incidente à la face supérieure et d'en diffuser une partie (réfléchie ou diffusée) par la face inférieure. La morphologie générale de la feuille n'est pas cependant pas l'unique facteur qui permet d'augmenter la capture de la lumière, des arrangements intracellulaires jouent également un rôle important (Hopkins, 2003).

II.2.6. La phase claire ou photochimique

La lumière par ses bombardements de photons excite les molécules de chlorophylle qui passent ainsi à un niveau énergétique supérieur et libèrent des électrons. Ceux-ci sont repris par une chaîne de transporteurs dont les potentiels redox s'accroissent avec le transfert des électrons. En fin de chaîne, l'activité des transporteurs conduit à l'élaboration de molécules d'ATP qui seront utilisées dans la seconde phase pour la synthèse de molécules glucidiques. La chlorophylle, régénérer son niveau énergétique, va pouvoir trouver des électrons grâce à une photo oxydation d'un corps qui en cède facilement, l'eau. Cette photolyse fournit non seulement des électrons récupérables par la chlorophylle mais libère également des ions H^+ et un déchet, le dioxygène. Elle se réalise en deux temps qui mettent en jeu deux couples oxydoréductifs, O_2/H_2O et $NADP^+/NADPH$ (Faurie et al, 2002).

1^{er} couple : $2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4 \text{H}^+ + \text{O}_2 + 4 \text{e}^-$ (Faurie et al., 2002)

Les proton H^+ sont pris en charge par un transporteur oxydé, le NADP^+ qui va être réduit selon l'équilibre suivant :

2^{ème} couple : $2 \text{NADP}^+ + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \longrightarrow 2 \text{NADPH} + 2 \text{H}^+$ (Faurie et al., 2002).

Ce transporteur réduit sera lui aussi consommé pendant la phase sombre et assurera avec l'ATP le couplage entre les deux phases. En additionnant membre à membre les deux réactions précédentes, le résultat final sera le suivant :



II.2.7. La phase sombre

C'est seulement au cours de cette phase qui se déroule dans le stroma des chloroplastes que la plante capte le dioxyde de carbone. Ce dernier va être réduit et pris en charge par un accepteur de CO_2 , le ribulose diphosphate (rudiP) qui va se scinder en deux molécules d'acide phosphoglycérique, grâce au couplage réalisé par l et le NADPH^2 provenant de la phase claire. Ces premiers corps carbonés glucidiques synthétisés par la photo vont subir des réactions biochimiques diverses qui vont conduire à un stockage, sous forme de grains d'amidon dans les chloroplastes, ou à l'élaboration de molécules plus complexes comme des protides ou des lipides mettant en œuvre le métabolisme cellulaire. La photosynthèse apparaît donc comme une oxydoréduction (oxydation de l'eau et réduction du CO_2). Des expériences de marquage avec des radio-isotopes ont permis de préciser que l'oxygène dégagé par la photosynthèse provient de la photolyse de l'eau et non du CO_2 comme on aurait pu le penser (Faurie et al., 2002).

II.2.8. 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_2 . En générale, les résultats des expériences visant à établir l'effet des polluants sur la conductance stomatale sont

contradictaires 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

L'atmosphère terrestre est de plus en plus polluée. La pollution atmosphérique est toujours due à l'activité humaine. Les processus impliqués dans la pollution sont nombreux et souvent très complexes (Masclat, 2005).

La pollution atmosphérique résulte d'un apport de gaz et de particules émis par l'activité humaine. Ces émissions sont dites anthropiques. Mais les processus atmosphériques impliquent autant les gaz et les aérosols naturels que les gaz et les aérosols anthropiques (Raven et al., 2009).

Elle est due au rejet intempestif de substances diverses dans l'atmosphère. Elle a accompagné la civilisation industrielle et s'est accrue au cours de la dernière décennie dans l'ensemble des pays développés. L'augmentation de la production industrielle et de la circulation des véhicules à moteur sont les sources les plus importantes de dégagement dans l'air de fumées, gaz toxiques et divers agents polluants. Cette croissance de la pollution résulte de nombreux facteurs : accroissement de la production d'énergie, de la circulation routière et aérienne, de la quantité des ordures incinérées... (Raven et al., 2009)

Les effets de la pollution se manifestent à plusieurs échelles. Ceux de la pollution automobile restent assez localisés dans les grandes cités urbaines. D'autres pollutions comme les pluies acides se manifestent à l'échelle régionale. Heureusement, ces phénomènes ne sont sans doute pas irréversibles (Masclat, 2005).

Enfin, la complexité du système atmosphérique est telle que les phénomènes se produisant dans une couche influencent indirectement les mécanismes de pollution dans l'autre couche. C'est le cas de ceux impliqués dans les modifications climatiques liées à l'effet de serre (Masclat, 2005).

III.1. L'atmosphère

III.1.1 Notion d'atmosphère

L'atmosphère est l'enveloppe essentiellement gazeuse qui entoure le globe terrestre (De Parcevaux et Huber, 2007). L'air atmosphérique est considéré comme un mélange d'air sec et de vapeur d'eau, ce qui souligne le rôle particulier joué par ce dernier constituant. L'air sec est lui-même un mélange de plusieurs gaz dans des proportions pratiquement constantes dans toute la partie de l'atmosphère qui est concernée par les phénomènes météorologiques (Guyot, 1999).

III.1.2. Caractéristiques et stratification thermique de l'atmosphère

L'épaisseur de l'atmosphère ne peut être déterminée de façon précise. Sa limite inférieure, la biosphère continentale ou l'océan, est bien définie, mais il n'en est pas de même de sa limite supérieure. La densité de l'air décroît progressivement avec l'altitude ; aux niveaux élevés, supérieurs à 1000 Km, on passe insensiblement d'un milieu gazeux au vide interplanétaire. On peut cependant affirmer avec certitude que 99% de la masse de l'atmosphère se situe en dessous de 30 km (De Parcevaux et Huber, 2007).

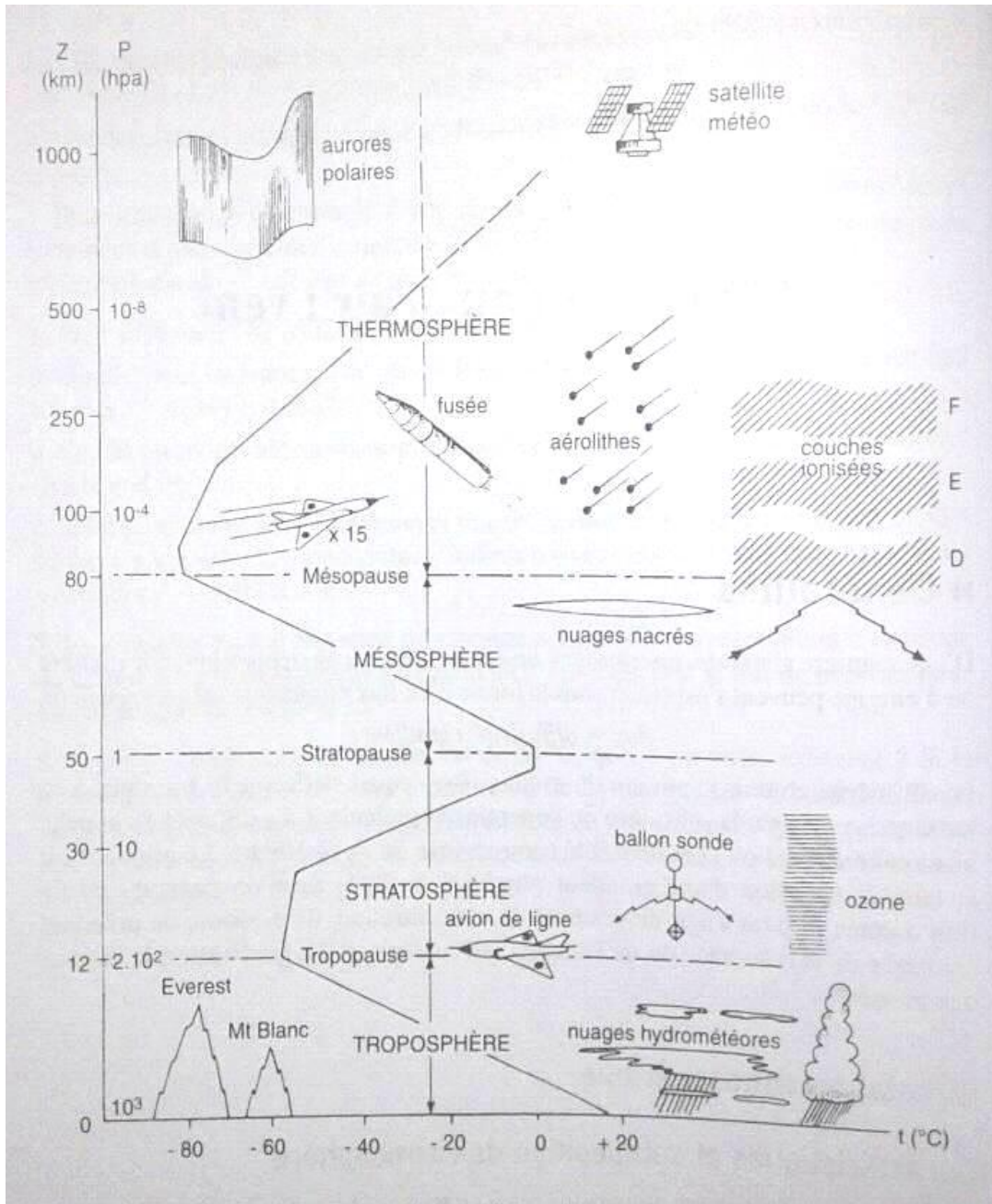


Figure III-1 : Différentes zones et phénomènes de l'atmosphère (De Parcevaux et Huber, 2007).

Les caractéristiques physiques de l'atmosphère varient en fonction de l'altitude. La pression décroît régulièrement selon une loi pseudologarithmique. Le profil moyen des températures s'avère beaucoup plus irrégulier, même en faisant abstraction des accidents fortuits temporaires. La température décroît avec l'altitude d'environ 6,5 °C chaque 1000 m dans la **troposphère** (Figure III-1) (Jeandel et Mosseri, 2011).

L'épaisseur de cette couche varie d'environ 7 km au pôle à une vingtaine de kilomètres à l'équateur. Aux latitudes tempérées, la limite supérieure de la troposphère, dit tropopause, se situe habituellement entre 9 et 12 km ; la température y est voisine de -55 °C à -60 °C. A partir de ce niveau, on pénètre dans **la stratosphère** et la température augmente alors pour atteindre environ 0 °C vers 50 km où se situe la stratopause, limite supérieure de la stratosphère. Ce réchauffement atmosphérique est associé à la présence d'ozone, notamment entre 15 et 40 km d'altitude. De nouveau, la température décroît jusque vers -80 °C au sein d'une nouvelle couche dénommée **mésosphère** et dont la limite supérieure, la mésopause, se situe vers 80 km d'altitude. Au-delà de la mésopause s'étend la **thermosphère** au sein de laquelle la température s'élève de nouveau, pouvant atteindre 500 °C. C'est dans cette zone que se trouvent les principales couches ionisées qui jouent un grand rôle dans la propagation des ondes radioélectriques terrestre (Jeandel et Mosseri, 2011).

III.1.3. Composition chimique de l'atmosphère

La composition chimique de l'atmosphère joue un rôle dans la cinétique des échanges atmosphériques et l'absorption de l'énergie solaire ou le rejet d'énergie vers l'espace. Le tableau III-1 donne la liste des principaux composants gazeux actuellement présents dans l'atmosphère, ainsi que leur évolution historique : concentration dans l'atmosphère préindustrielle et actuelle et le taux annuel de l'accroissement. Les teneurs moyennes correspondant à chaque gaz se sont adaptées au maintien de la vie terrestre (Degobert, 1992).

Tableau III-1 : composition chimique de l'atmosphère (Degobert, 1992).

Constituant	%	A (ppm V) (ère préindustrielle)	B (ppm V) (actuelle)	C (% / an)
Troposphère				
Azote	78,084			
Oxygène	20,984			
Argon	0,934			
Dioxyde du carbone	0,033 $18. 10^{-4}$	270	340	0,4
Néon	$5,3. 10^{-5}$			
Hélium	$1,7. 10^{-4}$			
Méthane	$1,14. 10^{-4}$	1,0	1,7	2
Krypton	$0,5. 10^{-4}$			
Hydrogène	$0,3. 10^{-4}$	0,28	0,30	0,25
Protoxyde de l'azote	$0,09. 10^{-4}$ $0,02-0,1.10^{-4}$			
Xénon				
Ozone				
Co		0,05-0,2	0,13	3
So ₂		0,001	0,002	2
NH ₃		0,004	0,006	2
H ₂ S		0,00005		

III.1.3.1. Les aérosols

Les aérosols ou particules solides et liquide en suspension dans l'atmosphère, jouent un rôle important dans la physique des nuages. Les matériaux solides de l'atmosphère se présentent sous forme de très fines particules minérales ou organiques. Ils ont pour origine, des poussières arrachées au sol par les vents, des cendres volcaniques rejetées jusque dans la stratosphère par les grandes éruptions, des particules organiques, notamment des pollens qui peuvent être véhiculés à des milliers de kilomètres de leur lieu d'origine, et des particules cosmiques d'origine météorique. Ces particules jouent un rôle essentiel dans la condensation et la formation des cristaux de glace. Les aérosols participent aussi à des processus chimiques et modifient les propriétés électriques de l'atmosphère (Boucher, 2012).

Les concentrations dans l'air au voisinage du sol varient d'environ 10^5 cm^{-3} et plus dans les zones fortement industrialisées à 10^3 cm^{-3} ou moins au-dessus des océans. Les concentrations en aérosols décroissent avec l'altitude. Les zones continentales sont une source importante de bioaérosols (pollens, spores...). Les aérosols et notamment les noyaux glaciogènes jouent un grand rôle dans la formation et l'évolution des nuages et les précipitations. A forte concentration, ils peuvent être dangereux pour la santé des êtres vivants terrestres (Jeandel et Mosseri, 2011).

III.2. Notion de pollution atmosphérique

Par pollution de l'air, on entend la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par un agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles de l'atmosphère. Les polluants les plus nocifs pour la santé publique sont notamment les matières particulaires, le monoxyde de carbone, l'ozone, le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre (O.M.S, 2015)

III.2.2. Les principaux polluants de l'atmosphère

III.2.2.1. les polluants primaires

Ce sont des substances dangereuses, comme la suie et le monoxyde de carbone, qui sont émises directement dans l'atmosphère (Raven et al., 2009) (Tableau III-2). La plupart de ces polluants sont réglementés. Il existe des normes mondiales limitant leurs rejets ; comme le décret exécutif n°:06-02, du 07/01/2006 définissant les valeurs limitent, les seuils d'alertes, ainsi le décret exécutif n°: 138-06, du 15/04/2006 Réglementant l'émission dans l'Atmosphère.

III.2.2.2. polluants atmosphériques secondaires

Ce sont des substances dangereuses qui se forment dans l'atmosphère quand un polluant atmosphérique primaire réagit avec des substances que l'on trouve naturellement dans l'atmosphère ou avec d'autres polluants atmosphériques (Raven et el., 2009).

Tableau III-2 : Les principaux polluants de l'air (Raven, 2009)

Polluant	Composition	Primaire ou secondaire	Caractéristiques
Aérosols Poussière Plomb Acide sulfurique	Variable Pb H ₂ SO ₄	Primaire Primaire Secondaire	Particules solides Particules solides Gouttelettes
Oxydes d'azote Dioxyde d'azote Oxydes de soufre Dioxyde de soufre	NO _x NO ₂ SO ₂	Primaire Primaire	Gaz brun rougeâtre Gaz incolore à odeur forte
Oxydes de carbone Monoxyde de carbone Dioxyde de carbone*	CO CO ₂	Primaire Primaire	Gaz incolore et inodore
Hydrocarbures Méthane benzène	CH ₄ C ₆ H ₆	Primaire Primaire	Gaz incolore et inodore Liquide à odeur agréable
Ozone	O ₃	Secondaire	Gaz bleu pâle à odeur âcre
Gaz toxique Dichlore	Cl ₂	Primaire	Gaz jaune-vert

L'ozone troposphérique est un polluant **secondaire** lui aussi réglementé, qui n'est pas directement émis mais qui résulte de réactions photochimiques avec les polluants primaires (Masclat, 2005) (Tableau III-2)

III.2.3. Relation de la végétation avec la pollution

L'épuration de l'air par les végétaux est en effet de plus en plus étudiés (Zulfacar, 1975). Elle se fait principalement en absorbant des toxiques gazeux ou en fixant les poussières en suspension dans l'air (Wedding et al., 1975). (Piret et Kookken, 1979) considéraient que les plantes supérieures sont des bioindicateurs valables de la pollution atmosphérique. Les polluants peuvent affecter la photosynthèse, la formation des parois cellulaires, la germination, l'absorption de l'eau, la mobilisation des éléments nutritifs, l'allongement cellulaire et d'autre processus physiologiques absents chez les animaux (Rana, 1995).

Si la pollution de l'air ne produit pas la mort des forêts, elle est susceptible de diminuer considérablement la production primaire et d'engendrer de la sorte des pertes économiques par suite des baisses de rendement en bois (Ramade, 2005).

III.2.4. impacts des polluants atmosphériques sur la végétation

L'impact de la pollution de l'air sur les végétaux résulte essentiellement de plusieurs polluants dont les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO_2), l'ozone... (Tableau III-3). Il se traduit par une réduction de la croissance des plantes sans dommages apparents, et des nécroses visibles en cas de fortes concentrations de polluants (D.G.A.C, 2013). Sans oublier les autres polluants atmosphériques tels que ammoniac, métaux lourds, polluants organiques (dioxines), particules fines.... par contre, il existe des polluants qui n'ont pas un effet clairement défini sur l'environnement et sur la biodiversité (Zaninotto et Faure, 2015).

III.2.5. La végétation et les polluants

Si l'ensemble des écosystèmes est impacté, les végétaux, du fait de leur immobilité, sont particulièrement exposés aux polluants. Parmi ces polluants, se distinguent, en fonction de leur composition chimique :

III.2.5.1. Les polluants organiques

Sous cette terminologie qui regroupe les polluants carbonés, se retrouve dans un vaste ensemble très hétérogène de molécules : produits phytopharmaceutiques, polluants organiques persistants

(PCB, HAP, dioxines/furanes...) qui diffèrent fortement par leurs structures, leurs caractéristiques physico-chimiques et leurs propriétés toxicologiques et éco toxicologiques (Pourrut et al., 2008).

Tableau III-3 : Impact des polluants atmosphériques sur la végétation (Ramade, 2005)

Polluants atmosphériques	Symptômes des polluants sur les végétaux
Anhydride sulfureux (SO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nécroses entre les nervures de la feuille ; ➤ Diminution de la productivité forestière ; ➤ Inactivation d'enzymes indispensables ; ➤ Disparition d'espèces sensibles : pin sylvestre ; ➤ Inhibition de la photosynthèse en raison de l'augmentation de la perméabilité des membranes cellulaires et de la perte d'ions indispensables comme le potassium ; ➤ Jaunissement (d'ocre clair ou presque blanc à rouge orangé ou brun) des feuilles et leurs chutes prématurées.
NO _x	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diminution du rendement des plantes (cultivées) ➤ Formation des zones nécrotiques irrégulières et décolorées sur les deux faces des feuilles ➤ Des stries nécrotiques inter-nervales rougeâtres ou une décoloration sombre de la face supérieure des feuilles (graminées)
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ozone (O₃) ➤ Autres photo-oxydant (éthylène) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Réduction de la photosynthèse chez les végétaux chlorophylliens ; ➤ Défoliation totale de la plante ; ➤ Feuillage devient bronze ou décoloré, en cas de PAN une teinte argentée vitreuse ou métallique à la foliaires ; ➤ Nécroses importantes chez les végétaux se traduisant par l'accélération de la sénescence.
Les particules (poussière de ciment, métaux, chaux dolomitique en poudre et suie carbonique)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nuisance à la respiration normale à la feuille ; ➤ Perturbation des mécanismes de la photosynthèse à l'intérieur de la feuille ; ➤ Les éléments émis se fixent sur les sites chargés extracellulaires (pariétaux et membranaires, généralement des groupes carboxyliques). ➤ Chlorose et la mort des tissus foliaires par la combinaison d'une croûte épaisse et de la toxicité
Fluore	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ralentir la croissance de certaines plantes (pin sylvestre, épicéa, prunier, poireau...) ; ➤ Inhiber les fonctions d'assimilation et de reproduction chez les plantes. ➤ Perturber le développement des organes (l'auxine) ; ➤ Nécroses et la chute des feuilles ou des aiguilles ;

III.2.5.2. Les polluants inorganiques

Ces polluants d'origine minérale regroupent principalement les polluants atmosphériques comme les oxydes de soufre et d'azote (SO_x, NO_x) et l'ozone, et les éléments minéraux comme l'aluminium, le fer ou le manganèse et les éléments traces comme le cadmium, le plomb ou le zinc. La phytotoxicité des polluants organiques, les mécanismes de celle-ci et les éventuels mécanismes de défense mis en place par les végétaux ont été très peu étudiés. De plus, la majorité des sites contaminés par des activités anthropiques est impactée par des polluants inorganiques (A.E.E, 2007).

III.2.5.3. Les effets des polluants inorganiques atmosphériques sur la végétation

Les principaux polluants inorganiques atmosphériques ayant un effet négatif sur les végétaux sont les oxydes d'azote (NO_x) et de soufre (SO_x). En réagissant avec le dioxygène et l'eau atmosphérique pour former des acides sulfureux (H₂SO₃), sulfurique (H₂SO₄) et nitrique (HNO₃), ces polluants sont à l'origine des pluies acides (Rechcigl and Sparks, 1985).

III.2.6. L'absorption des polluants dans les plantes

L'entrée du polluant dans la plante par la racine, constitue tout un ensemble de réactions physico-chimiques et biologiques dans le sol avec la participation des microorganismes. L'entrée des polluants par les feuilles peut se faire de deux façons : par voie stomatique ou par voie cuticulaire à la suite d'un dépôt de surface (Figure III-2). Les stomates sont des orifices situés essentiellement sur l'épiderme foliaire des végétaux et qui sont nécessaires pour la respiration, la photosynthèse et la régulation hydrique (Cuny, 2009).

C'est via les stomates que les échanges de gaz entre la plante et l'atmosphère ont lieu, et que certains polluants peuvent entrer, notamment les composés très volatils de faible poids moléculaire et solubles dans l'eau (SO, NO, O) qui, une fois dans la cavité sous stomatique, se solubiliseront dans l'eau qui sature l'atmosphère présente, tapisse les parois cellulaires, et pourront entrer dans les cellules pour y être métabolisés et y exercer des effets délétères ou éventuellement y être stockés. Concernant les composés organiques, leur absorption par les plantes dépend de leur forme (gazeuse ou particulaire). Cette forme, à son tour, varie en fonction de la nature du polluant, de ses propriétés physico-chimiques, des conditions environnementales (Air Pur., 2009).

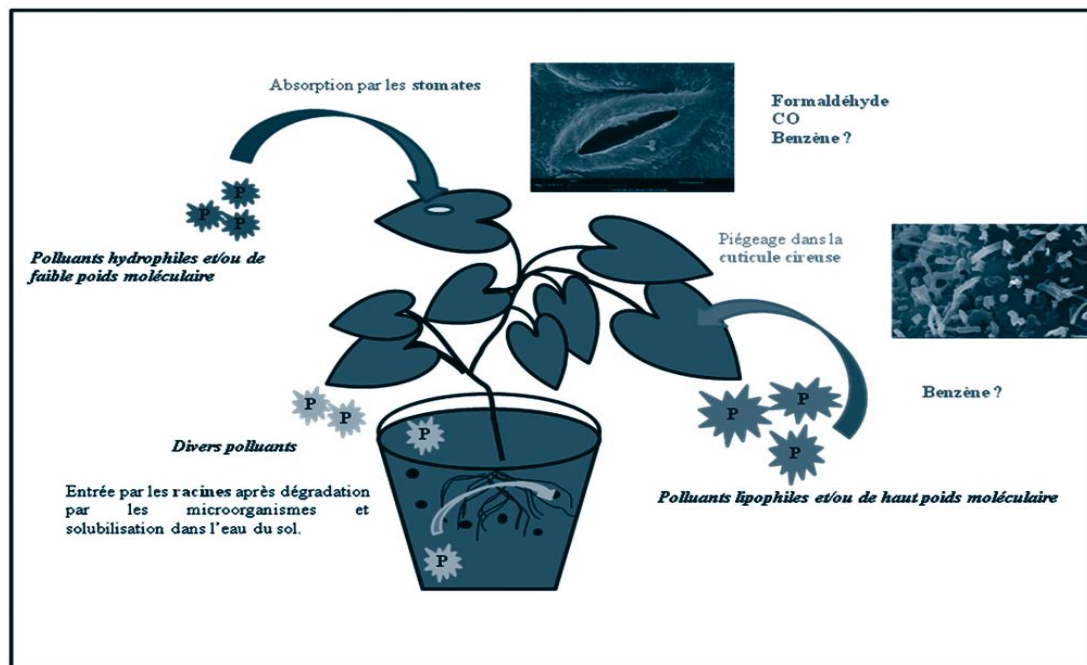


Figure III-2 : Les voies de pénétration des polluants dans les feuilles (Air Pur., 2009).

La cuticule est une couche lipidique continue présente à la surface des feuilles (sauf au niveau des stomates), qui possède un relief et des prolongements vers l'intérieur de l'épiderme. Elle est plus ou moins épaisse et riche en cires selon l'espèce végétale et agit comme une barrière de protection ayant de multiples rôles pour la plante. C'est la seconde voie d'entrée possible dans les feuilles, notamment pour les composés organiques en raison de leurs propriétés lipophiles (Cuny et al., 2006).

Ainsi, les composés organiques, les composés de volatilité intermédiaire, par rapport à ceux qui entrent par les stomates, les composés de haut poids moléculaire et ceux sous forme de poussière et d'aérosol se déposent préférentiellement sur la cuticule. Les polluants déposés à la surface des feuilles et absorbés sur la surface lipophile vont être accumulés dans les cires. Par la suite, ils peuvent migrer, progressivement, vers les cellules sous l'influence de nombreux paramètres : température ou nature du polluant. La répartition des composés organiques entre les feuilles et l'atmosphère est influencée par de nombreux facteurs : le coefficient de partage octanol/eau, qui détermine si un polluant est hydrophile ou lipophile, la perméabilité de la cuticule aux composés, la nature des lipides foliaires, mais aussi la surface foliaire, les caractéristiques de la cuticule et la répartition des stomates (Air Pur, 2009).

Quelle que soit la voie d'entrée des polluants, les conditions environnementales de l'exposition (température, l'humidité, la vitesse du vent) peuvent influencer sur leur pénétration dans les

feuilles, et donc sur les capacités d'épuration. Par exemple, les mouvements d'air vont diminuer l'épaisseur de la couche limite (pellicule d'air non agité à la surface des feuilles qui limite l'arrivée des gaz) et faciliter ainsi le contact avec la feuille (Cuny, 2009).

III.2.7. Les effets des polluants sur les plantes

Après pénétration dans les cellules végétales, les polluants peuvent engendrer, directement ou après métabolisation en composés secondaires toxiques, des impacts à plusieurs niveaux biologiques. Au niveau macroscopique en recherchant des nécroses sur les feuilles, au niveau physiologique en mesurant l'efficacité photosynthétique de la chlorophylle, au niveau cellulaire avec le dosage de marqueurs de stress oxydant et au niveau infra cellulaire, avec l'évaluation des effets génotoxiques par la recherche des cassures de l'ADN (Air Pur, 2009).

L'observation des effets des polluants sur les végétaux à ces différents niveaux peut ensuite être utilisée pour la bio surveillance végétale de la qualité de l'air. Les études menées en bio surveillance végétale de la qualité de l'air concernent davantage l'air extérieur, et très peu ont été menées en environnement intérieur (Cuny, 2009)

III.3. Les aérosols atmosphériques

Les aérosols participent aussi à la pollution mais leur rôle est moins bien élucidé. Ils jouent un rôle majeur sur le climat par un effet direct sur le bilan radiatif et un effet indirect en agissant sur la formation des nuages. Par ailleurs, ils contiennent souvent des composés très cancérogènes comme les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), composés chimiques produits de façon générale par toutes les sources de combustion, comme, par exemple, les véhicules diesel. Les aérosols sont aussi le siège de réactions chimiques ou photochimiques modifiant le bilan des photoxydants dont l'ozone troposphérique. Mais de nombreuses études sont encore nécessaires avant de connaître complètement les mécanismes impliquant les aérosols (Boucher, 2012).

III.3.1. Définition et origine des aérosols

Les aérosols sont de fines particules en suspension dans l'atmosphère. L'ensemble de ces particules présente une large gamme de tailles pouvant varier de quelques nanomètres à quelques dizaines de micromètres (Renoux et Boulaud, 1998). Une terminologie bien définie est utilisée pour désigner les particules en fonction de leur taille (Figure III-3).

D'un point de vue réglementaire, le terme TSP (Total Suspended Particles) correspond aux particules totales en suspension et les termes PM_{10} , $PM_{2.5}$ et PM_1 (PM pour Particulate Matter : matière particulaire) représentent la fraction de l'aérosol atmosphérique qui contient les particules ayant un diamètre aérodynamique équivalent, respectivement inférieur ou égal à $10\mu m$, $2,5\mu m$ et $1\mu m$ (Figure III-3) (Querol et al., 2001).

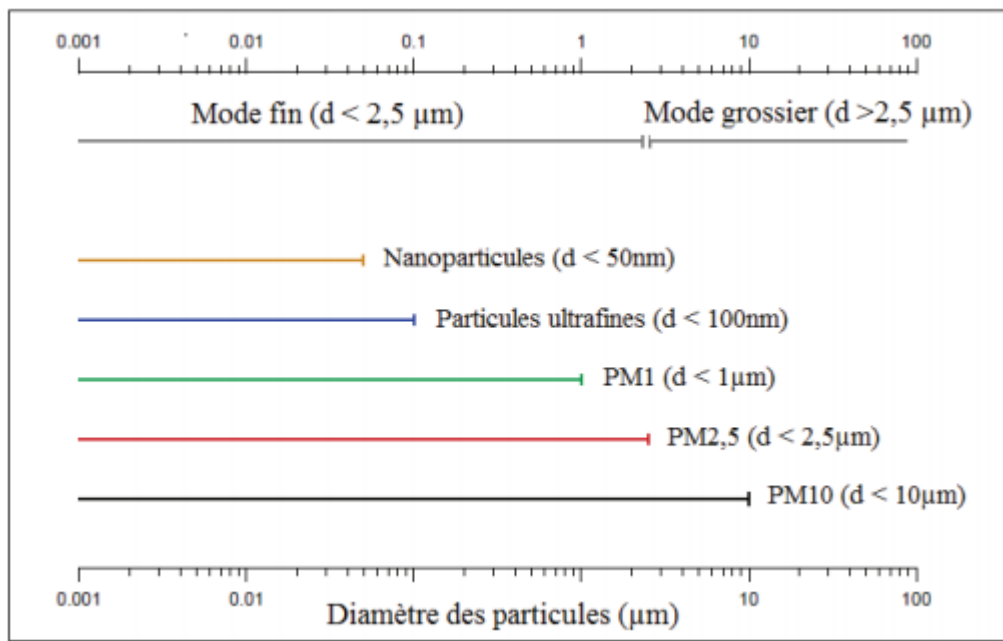


Figure III-3 : Terminologie de classification des particules atmosphériques en fonction de leur taille (Schneider and Voigt, 2011)

III.3.2. Taille d'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 $0,001 \mu m$ à $100 \mu m$ (Boucher, 2012).

- $D_p < 0,1 \mu m$: fines particules ou noyaux d'**Aitken**. Ces particules sont essentiellement dues à la conversion des gaz.
- $0,1 < D_p < 2,0 \mu m$: 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.
- $D_p > 2,0 \mu m$: les **grosses** particules. Il s'agit de particules détritiques, de sable ou de particules très chargées en eau.

III.3.3. Données sur les aérosols

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

Tableau III-4 : concentrations des aérosols (Boucher, 2012).

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

III.3.4. Structure probable de l'aérosol

La figure III-4 synthétise la vision actuelle de la constitution de l'aérosol de pollution. L'aérosol semble donc être constitué (Masclat, 2005) :

- d'un cœur formé de carbone suie (carbone amorphe) et oxydes métalliques avec une couleur noire dominante,
- d'une couverture épaisse d'électrolytes hydrosolubles tels que les sulfates,
- de 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,

- 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.

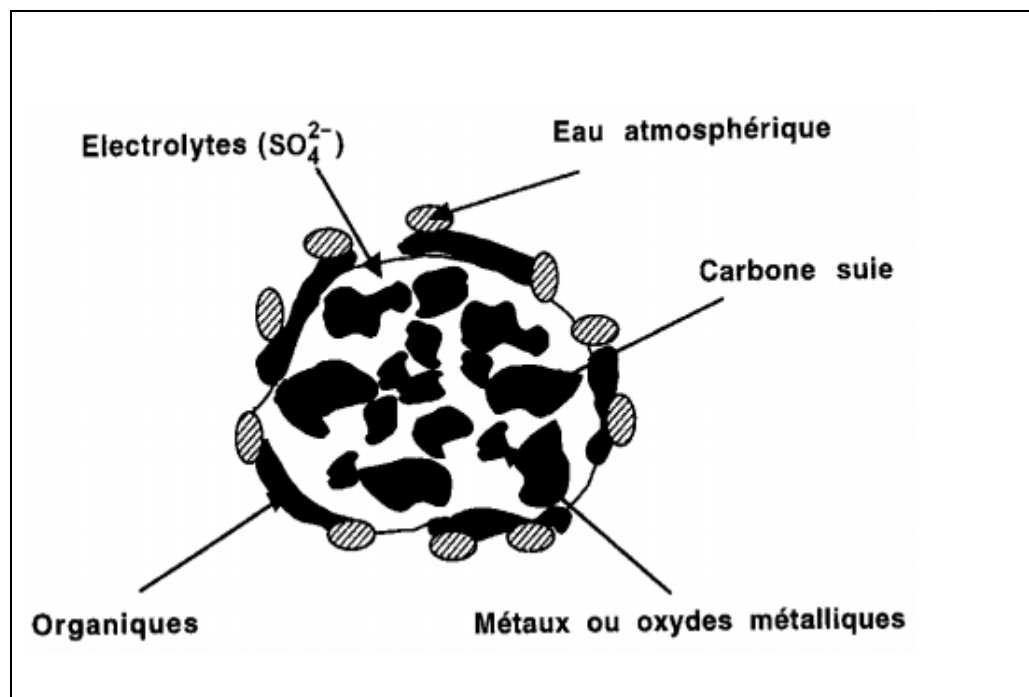


Figure III-4 : Structure probable de l'aérosol (Masclat, 2005)

III.3.5. Source et flux des particules d'aérosols

A l'échelle globale, de nombreuses estimations des émissions de particules d'aérosol ont été faites en prenant en compte leur origine anthropique ou naturelle (Tableau III-5). Pour chaque type de source, on distingue deux classes différentes d'aérosols en fonction de leur mode de formation : les aérosols primaires et les aérosols secondaires.

Les aérosols anthropiques primaires sont largement dominés par les aérosols de rejets industriels, tandis que les anthropiques secondaires sont à 88% des aérosols sulfatés. De plus, les feux de végétation représentent 18% des sources d'aérosols anthropiques primaires.

Le tableau montre que la contribution des activités anthropiques au cycle des aérosols est relativement faible, environ 6 % de la masse d'aérosols émise chaque année dans l'atmosphère. Pourtant cette vision est trompeuse. En effet, les activités anthropiques sont responsables de 70% à 90 % de la concentration en nombre des aérosols émis dans l'atmosphère (Delmas et al., 2005).

Tableau III-5 : flux d'émission des particules d'aérosols en Mt.an⁻¹ (IPCC, 2001)

Origine de la source		Sources	Flux moyen (Mt.an ⁻¹)	
Naturels (94 %)	Primaire	Sels de mer	3000	
		Poussières minérales	2000	
		Sulfates biogéniques	90	
		Carbone organique (> 1µm)	56	
	Secondaire	Cendres volcaniques	33	
		Sulfates volcaniques	21	
		Carbone organique (Oxydation des Composés Organiques Volatiles biogéniques)	16	
		Nitrates	4	
	Total			5220
	Anthropique (6%)	Primaire	Carbone organique (0-2 µm)	
Feux de végétation			54	
Comb. Fuel fossile			28	
Carbonne élémentaire (0-2 µm)				
Poussière industrielles			100	
Comb. Fuel fossile			6.6	
Feux de végétation			5.7	
Secondaires		Sulfates	120	
		Nitrates	14	
		Carbone organique (Oxydation des Composés Organiques Volatiles anthropiques)	1	
Total			330	

III.3.6. Nature de l'aérosol

Il existe deux types d'aérosols mélangés à l'atmosphère dans toutes les atmosphères terrestres : aérosols d'origine naturelle et aérosols de pollution (Boulaud et Renoux, 1998).

III.3.6.1. Aérosol naturel

a. L'aérosol terrigène (de terre) ou **crustal** (de la croûte terrestre) ; est principalement constitué d'oxyde métalliques et d'aluminosilicates pour les composés minéraux, et de débris de plantes ou d'humus pour les composantes organiques.

b. L'aérosol marin ; produit par le « spray » océanique, et est constitué d'ions chlorure et de sodium, mais aussi de grandes quantités de nitrates et de sulfates.

c. L'aérosol volcanique est constitué de nombreux métaux et de dioxyde de soufre gazeux qui se transforme en sulfates particulaires (Boucher, 2012).

III.3.6.2. Aérosol de pollution

III.3.6.2.1. Aérosol Primaire ou aérosol détritique : constitué de 20 à 30 % de débris de pneus, des particules métalliques (plomb, zinc, fer, cuivre, cadmium, etc...), de poussière de charbon, des 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. Cet aérosol est plus grossier et souvent de taille supérieure au micron (Masclat, 2005).

III.3.6.2.2. Aérosol Secondaire ou aérosol de conversion : formé de 70 à 80 % de condensation des 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. Il est formé par un processus appelé "conversion gaz/particule" (Masclat, 2005).

Cet aérosol de conversion est très fin, puisque sa taille est inférieure au micron. La composition de ces particules est très vaste comme l'est celle des COV qui se convertissent en particules. Notons que les particules les plus toxiques sont fines, donc l'aérosol de pollution est souvent dangereux pour la santé humaine. Or la contamination de l'atmosphère par ce type d'aérosols devient générale (Boulaud et Renoux, 1998).

III.3.7. Sources d'émission des aérosols

Elles peuvent être naturelles ou anthropiques (Stortini et al., 2009).

III.3.7.1. Les sources naturelles:

- les particules terrigènes (issues de l'envol de poussières provenant de sols, notamment désertiques),
- les particules issues des océans,

- les particules issues de la végétation ou encore les particules liées à la combustion telles que les feux de forêts
- les éruptions volcaniques (Almeida et al., 2005; Artinano et al., 2003; Paris et al., 2009).

III.3.7.2. Les principales sources anthropiques:

- l'agriculture et la sylviculture (pesticides, engrais),
- l'industrie manufacturière (chimie, construction, métallurgie),
- les secteurs résidentiel et tertiaire (combustion du bois et du fuel),
- les transports et la transformation d'énergie (production d'électricité, raffinage du pétrole) (Almeida et al., 2005; Huang et al., 2009).

III.3.8. Mode de formation des particules

Il existe trois modes de formation de particules (Figure III-5) :

III.3.8.1. 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).

III.3.8.2. 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).

III.3.8.3. 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 (Masclat, 2005).

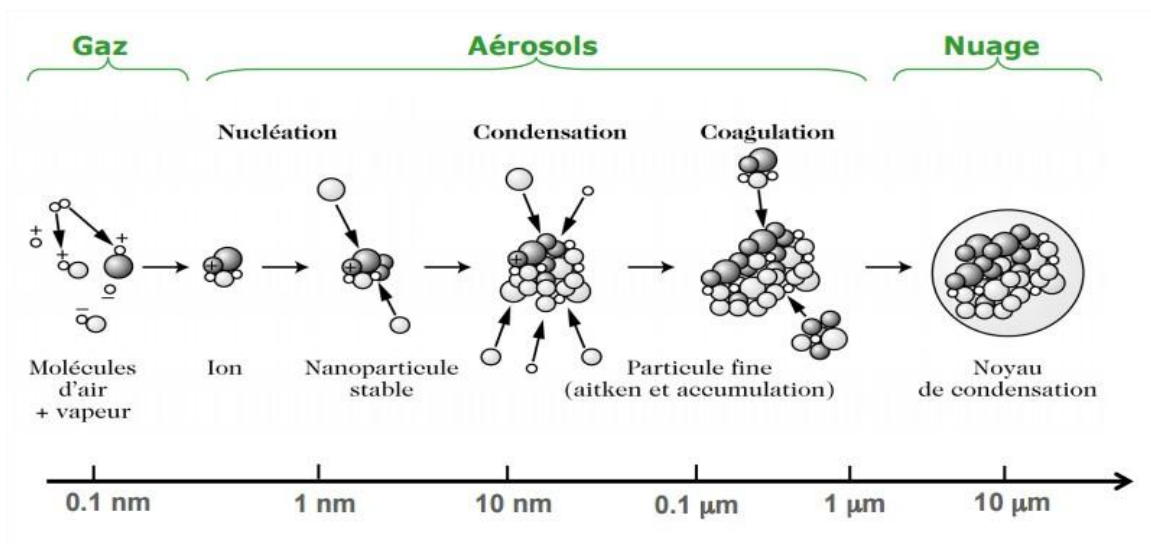


Figure III-5 : Evolution d'un aérosol atmosphérique (Marris, 2013)

III.3.9. Transport des aérosols à longue distance

Le transport des aérosols est peu fréquent entre les Amériques et l'Europe. En revanche, il est possible de l'Europe vers l'Asie et de l'Asie vers le pôle Nord. Ce dernier axe de transport est bien connu depuis "Tchernobyl". En région montagneuse, le dépôt humide prédomine toujours. Ainsi, dans les Alpes, il permet l'apport de sels marins en provenance de l'Atlantique et l'apport d'aérosol désertique en provenance du Sahara. Ce dernier phénomène est connu depuis l'Antiquité : ce sont les « pluies rouges ». Ces divers apports sont bénéfiques car ils améliorent la qualité des sols (Masclat, 2005).

III.3.10. Impact climatique

D'une manière générale, les aérosols peuvent avoir un impact sur :

- le changement climatique (forçage radiatif) ;
- la modification des régimes de précipitations ;
- l'acidité des pluies ;
- la pollution des sols, des eaux et de la végétation ;
- la réduction de la visibilité ou encore sur la dégradation des bâtiments (Vogel et al., 2009).

Cependant, les effets des particules atmosphériques sur la chimie ou la physique de l'atmosphère et le climat suscitent encore de nombreuses questions (Boucher, 2007). Les aérosols atmosphériques vont également avoir un impact à plus petite échelle : régionale ou locale. En effet, ils peuvent être la cause d'une :

- Réduction de la visibilité dans les zones urbaines et industrielles. Ceci est lié notamment à l'influence des particules sur le transfert des radiations électromagnétiques dans le domaine du visible, par diffusion ou absorption de lumière (Figure III-6) (Horvath, 1995; Tsai et al., 2007).

- Responsables du phénomène d'acidification des pluies. Dans certaines régions fortement polluées, des valeurs de pH d'eaux de pluie inférieures à 4 ont été observées (Huang et al., 2008), liées notamment au piégeage de composés anthropiques.

- Cette oxydation est associée à la formation de noyaux de condensation, responsables de la formation de nuages lorsque l'humidité relative est élevée, ce qui permet ainsi le piégeage des produits acides qui seront déposés par lessivage (Aikawa et al., 2008).

Les conséquences liées à ces pluies acides sont nombreuses sur les écosystèmes terrestres et aquatiques de part les dégâts provoqués au niveau des forêts, des cultures et de la vie aquatique (Ozsoy and Ornektekin, 2009).



Figure III-6 : Effet d'aérosol sur la visibilité (la qualité de l'air) ; sans pollution : visibilité 250km, avec pollution : visibilité 70 km (Marris, 2013).

Chapitre IV

La baryte ou barytine

IV. Etude de la baryte ou barytine

Le baryum, se trouve à la 56^{ème} position de la table périodique, c'est un élément présent naturellement dans l'environnement sous forme complexée essentiellement à l'état solide, soluble sous certaines formes. Nous nous intéresserons à l'élément baryum (Ba), à sa fréquence et à son comportement dans l'environnement (Host, 2005).

IV.1. Le Baryum (Ba)**IV.1.1. Généralités**

Le baryum est un métal alcalino-terreux du groupe 2 (IIa) de symbole Ba, identifié en 1791 dans un minerai par Thomas Charles Hope (chimiste Ecossais 1766-1844) et isolé en 1808 de la barytine ($BaSO_4$) par Sir Humphry Davy, chimiste et physicien anglais 1778-1829. Son nom est dérivé du grec *barus* signifiant lourd, c'est l'élément simple le plus dense ($d = 4,48$) de la famille des alcalino-terreux (Figure IV-1)

La dénomination baryum est utilisée pour la première fois au XIXe siècle pour caractériser un minéral qui formait une gangue dans certains gisements métallifères. Dans les régions aquifères, le baryum peut être retrouvé dans l'eau de boisson du fait de l'altération des roches sédimentaires (Host, 2005).



Figure IV-1 : Minerai naturel de Baryte extraite (Host, 2005).

IV.1.2. Propriétés physico-chimiques

Les principales caractéristiques du baryum sont résumées dans le tableau ci- dessous.

Tableau IV-1 : Propriétés physico-chimiques du baryum (Host, 2005).

Symbole	Ba	Rayon atomique	217 (278) pm
Numéro atomique	56	Rayon ionique	142 pm
Poids moléculaire	137,34	Rayon de covalence	198 pm
Valence	2	Configuration	[Xe] 6s ²
Densité	3,51 à 20°C	Etat d'oxydation	2 (base forte)
Masse volumique	3594 kg/m ³	Electronégativité	0,89 (Pauling)
Point de fusion	1002 K (728,85°C)	Structure	Cubique à corps centré
Point d'ébullition	1910 K (1636,85 °C)	Couleur	Blanc argenté
Isotopes	¹³⁰ Ba (0,106%), ¹³² Ba (0,101%), ¹³⁴ Ba (2,417%), ¹³⁵ Ba (6,592%),		
	¹³⁶ Ba (7,854%), ¹³⁷ Ba (11,23%), ¹³⁸ Ba (71,7%) stables ;		
	¹³³ Ba, demie-vie de 10,51 ans		

C'est un métal tendre, blanc argenté lorsqu'il est pur, très malléable. Brillant lorsqu'il vient d'être coupé, il se ternit rapidement au contact de l'air puis devient brun-jaunâtre puis gris. Il semble qu'il se couvre d'une couche d'oxyde et de nitrure. Il possède une forte affinité pour l'eau et s'oxyde à l'air en formant une couche superficielle protectrice (Host, 2005).

IV.1.3. Composés chimiques du baryum

Le sulfure de baryum est phosphorescent alors que ses dérivés colorent la flamme en vert. Les principaux sels insolubles sont : le sulfate, le carbonate, les phosphates, le fluorure, les chromates, le silicate et le fluosilicate. Le carbonate est insoluble dans l'eau mais soluble dans les acides dilués. Le sulfate est insoluble dans l'eau, pratiquement insoluble dans les acides dilués. Les sels solubles sont : le chlorure, l'oxyde, le nitrate. Le chlorure est très soluble dans l'eau, soluble dans les acides dilués. L'oxyde est soluble dans l'eau et dans les acides dilués. Le nitrate est soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool, soluble dans les acides (87g/L d'eau à 20°C, 347 g/L à 100 °C). L'hydroxyde est partiellement soluble dans l'eau (3,89 g de Ba(OH)₂ dans 100 g d'eau à 20 °C) (Host, 2005).

IV.1.4. Cycle du baryum dans l'environnement

a. Etat naturel

Le baryum qui représente 0,05 % de l'écorce terrestre (16^{ème} élément non gazeux en ordre d'abondance) ne se trouve pas à l'état libre (Ba^0) dans l'environnement. On ne le retrouve qu'à l'état de traces dans les roches ignées et sédimentaires, sous formes combinées. La teneur moyenne en baryum dans les différents types de roches est de 595 ppm dans les roches ignées, 193 ppm dans les grès, 250 ppm dans les roches argileuses, 30,1 ppm dans les roches calcaires et 173 ppm dans les évaporites (Horn et Adams, 1966 cités par Host, 2005). Le baryum s'accumule dans les sédiments marins principalement sous forme de sulfate (barytine) issu de la décomposition d'Acanthaires (Host, 2005).

b. Exploitation minière

Le principal minerais de baryum est la barytine ou baryte, ou barytite ($BaSO_4$), que l'on retrouve aussi bien dans les roches sédimentaires que métamorphiques et ignées, souvent associée avec un ou plusieurs minéraux tels : la fluorine (CaF_2), la célestite ($SrSO_4$), le quartz (SiO_2), la calcite ($CaCO_3$), la dolomie ($CaMg(CO_3)_2$), la pyrite (FeS_2), la chalcopyrite ($CuFeS_2$), la spharélite (ZnS) ou la galène (PbS) (Tableau IV-2).

Tableau IV-2 : compositions chimiques et taux de Baryum dans les minerais

Minéraux	Composition	% de Ba	% de BaO
Barytine	$BaSO_4$	58,8	65,7
Sanbornite	$BaSi_2O_5$	50,21	55,5
Benstonite	$(Ba,Sr)_6(CO_3)_{13}(Ca,Mg,Mn)_7$	27,79	37,98
Withérite	$BaCO_3$	69,59	77,7

Les autres minerais de baryum sont la benstonite ($(Ba,Sr)_6(CO_3)_{13}(Ca,Mg,Mn)_7$) et la sanbornite ($BaSi_2O_5$). La withérite ($BaCO_3$), bien que riche en oxyde de baryum (BaO) et la norséthite $BaMg(CO_3)_2$ ne sont pas commercialement importants (Host, 2005).

En 2001, la production mondiale de barytine est estimée à 6,6 millions de tonnes, les principaux producteurs sont classés dans le tableau IV-3 (Ressources naturelles et Faune du Québec, 2005).

Tableau IV-3 : Principaux producteurs de barytine et tonnes produites par an

Rang	Pays	1997	1998	1999	2000	2001 [*]
1	Chine [*]	3 500 000	3 300 000	3 500 000	3 500 000	3 600 000
2	Inde	409 498	749 412	360 000	840 000	850 000
3	USA	692 000	476 000	434 000	392 000	400 000
4	Maroc	343 314	353 438	328 945	320 243	320 000
5	Iran	181 174	187 677	183 850	185 000 [*]	185 000
6	Mexique	236 606	161 555	157 953	127 420	130 000
7	Turquie	226 594	160 042	150 058	120 893	100 000
8	Allemagne	118 698	120 000 [*]	120 000	120 000 [*]	120 000
9	Bulgarie [*]	120 000	1 000	120 000	120 000	100 000
10	Corée du Nord	120 000	100 000	70 000	70 000	70 000

IV.1.5. Utilisation du baryum

IV.1.5.1. Usages industriels

Le baryum, métal ou oxydes, ainsi que ses sels sont utilisés dans de nombreuses fabrications, notamment tels que les tubes cathodiques, du papier photographique, du verre, de peintures, de lubrifiants résistant à haute température, des céramiques, émaux et porcelaines, en pyrotechnie, en teinturerie, dans les boues de forage, comme fluidifiant (Host, 2005).

IV.1.5.2. Usages agricoles

Le baryum est utilisé comme pesticide fluorosilicate (BaSiF_6). Il est employé comme insecticide et raticide. Il s'est révélé efficace dans le traitement contre les vers des vignes, le carpocapse des pommiers et le doryphore (Host, 2005).

IV.1.5.3. Usages domestiques et médical

On trouve du baryum dans les produits épilatoires, les colorants pour émaux et vernis, les peintures d'art ... (Host, 2005). Le sulfate de baryum est utilisé comme opacifiant en radiologie (Host, 2005).

IV.1.6. Rejets dans l'environnement

Ils sont d'origine industrielle et résultent des activités d'extraction, de raffinage ou de transformations des minerais de baryum ou des activités manufacturières utilisant le baryum (Host, 2005). Dans l'atmosphère, les rejets de baryum résultent de la combustion du charbon, des produits pétroliers et des déchets. Les dépôts sur les sols ont pour origine les activités

humaines : épandage de cendres et de boues d'épurations en particulier (IPCS, 1990).

IV.1.6.1. Devenir dans l'environnement

a. Transfert et distribution : Transfert air-eau et air-sol

C'est sous forme de sulfate et de carbonate que l'on retrouve le baryum dans l'atmosphère. Les particules en suspension peuvent s'y maintenir plusieurs jours, en fonction de leur taille. Toutefois, la majorité des particules barytées ayant une dimension supérieure à 10 μm , elles retombent rapidement sur les sols et les eaux de surface (Host, 2005).

b. Teneurs dans l'environnement et les médias d'exposition pour l'homme

Teneurs dans l'air

Les données disponibles relatives à la teneur en baryum dans l'air sont très variables et parfois contradictoires. Une étude indique des teneurs variant de 0,0015 à 0,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans l'air aux Etats-Unis (US EPA, 1984). Des mesures réalisées sur 346 jours en Belgique indiquent pour 1997 une concentration moyenne de 0,020 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la station de mesure de Liège. Les poussières contiendraient entre 20 $\mu\text{g}/\text{g}$ (poussières intérieures) et 137 $\mu\text{g}/\text{g}$ de baryum (poussières extérieures) (Creason et al., 1975).

IV.1.6.2. La barite à Ain-Mimoun

La localisation de l'usine d'exploitation de la baryte se situe dans le massif des Ouled Yagoub dans les Aurès, dans la localité d'Ain Mimoune qui se situe dans la commune de Tamza de la Daira d' El Hamma (Figure IV-2).

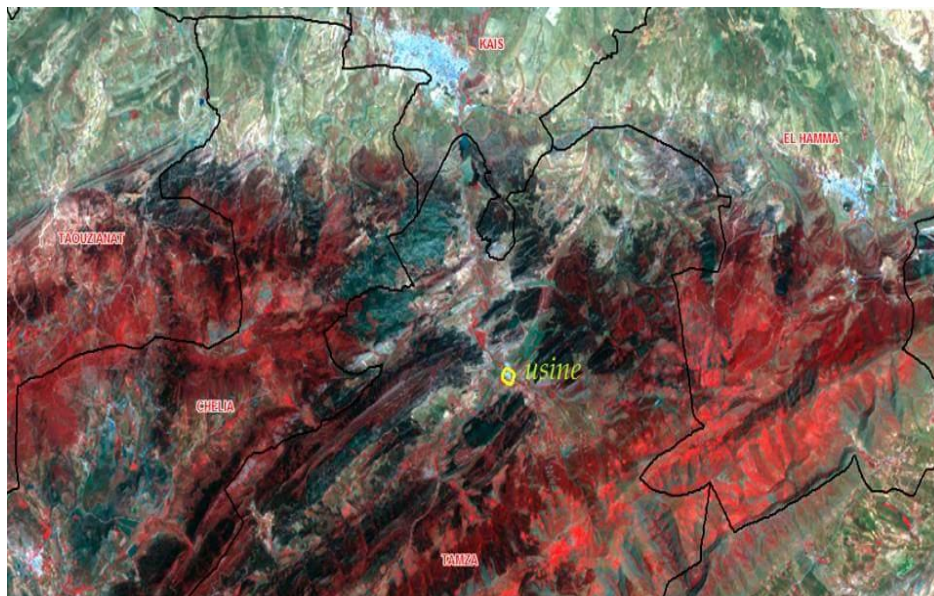


Figure IV-2 : Localisation Géographique du gisement de Ain Mimoun (Google earth, Pro-2018).

IV.1.6.3. Historique des recherches et réserves géologiques

Le gisement barytine d'Ain Mimoun est découvert en 1968 au cours des travaux géologiques de révision de la région de l'anticlinal de Khenchela par la SONAREM (Chadrin et Jarrikov, 1968) (Figure IV-3). Les travaux spéciaux de recherche suivant les filons barytines avec évaluation des réserves ont été réalisés de 1968 à 1970. La prospection des filons de barytes été effectuée par tranchées en surface et par sondage carotté en profondeur. Avant le début de l'exploitation, les réserves étaient évalués à 2147500 tonnes à 86% de $BaSO_4$.



Figure IV-3 : Une forme de baryte (Chadrin et Jarrikov, 1968).

IV.1.6.4. Etude géologique du gisement et situation Géographique

Le gisement de barytine d'Ain Mimoun est situé sur le territoire de la wilaya de Khenchela, à 28 km à l'ouest du chef-lieu. Les filons n° 3, 7, 8, 9 et 15 sont situés respectivement de 6 à 18 km à l'Est de l'usine. Le filon n°4 est situé à 11 km au Sud Est (Figure IV-4).

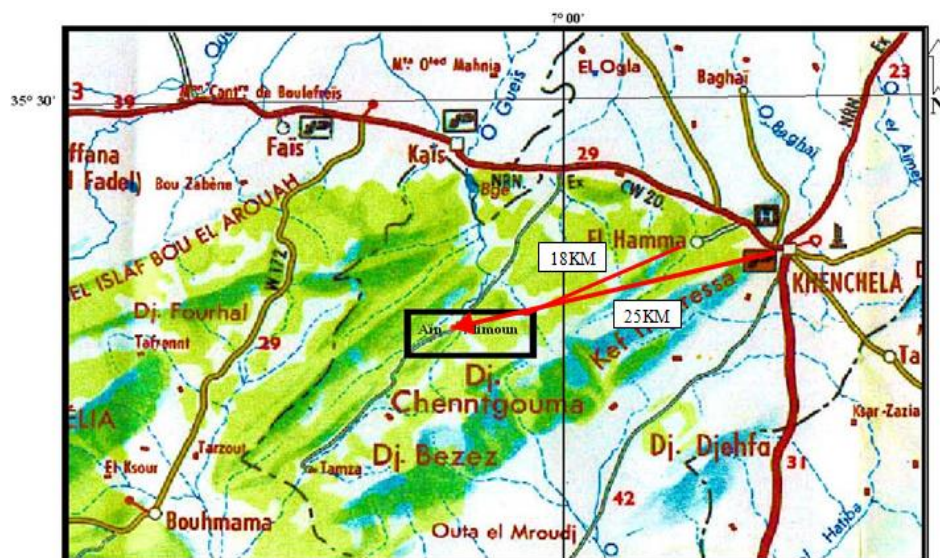


Figure IV-4 : Localisation géographique du gisement d'Ain-Mimoun.

La région du gisement se trouve dans la partie orientale du massif montagneux des Aurès qui s'étend à la direction Nord-Est les flancs Septentrionaux de l'anticlinal de Khenchela qui se caractérise par un relief montagneux typique, dont le massif est divisé par les vallées profondes transversales, les versants des vallées sont raides, les dénivellations relatives atteignent souvent 500-700 m, le gisement est représenté par un faisceau des filons affleurant à la surface avec un fort pendage (30° - 90°) et avec une puissance de 0,5 - 3 m. L'étendue la plus importante des filons célestes à 1 km et les dimensions suivant le pendage 150 - 200 m. La hauteur la plus élevée du gîte filonien (filon N°11) fait en 1950, la moindre hauteur (filon N°1) est égale à 1250 m, les filons sont à distances de la plateforme industrielle de la mine sur un rayon de 6 à 12,5 km (Baladah, 2012).

IV.1.6.5. Composition chimique du minerai d'Ain Mimoun

Le tableau ci-dessus nous montre les différentes compositions chimiques de la baryte d'Ain Mimoun.

Tableau IV-4 : Composition chimique du minerai d'Ain Mimoun (Hoste, 2005).

Minerai	Composition	Densité g/ cm ³	Dureté	Couleur
Baryte	Ba SO ₄	4,48	3,5	Blanche
Calcite	Ca CO ₃	2,72	2,5-3	Incolore ou blanc opaque
Quartz	Si O ₂	2,5-2,6-5	7	Blanche
Hématite	Fe ₂ O ₃	5,26	5-6	Gris ou noir
Galène	PbS	7,58	2,5	Gris de plomb
Covelline	CuS	4,6- 4,76	1,5-2	Bleu
Malachite	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₃	3,9-4,05	3,5-4	Vert brillant
Feldspath	KAISi ₃ O ₃	2,5-2,6	6-6,5	Incolore
Bauxite	Al ₂ O ₃	2,5	Friable	Gris bleuté

IV.1.6.6. Les caractéristiques physico-chimiques de la baryte

Les caractéristiques physico-chimiques de la baryte sont résumées dans le tableau IV-5.

a. Faciès : La Barytine se cristallise dans le système orthorhombique et forme habituellement des cristaux plutôt plats mais aussi en cristaux tabulaires, prismatiques épais, rhombiques ; des cristaux peuvent être présents en granulats (en général clivables), lamelliformes et fibreux (rarement) et toutes ces formes atteignent souvent des dimensions très importantes. Souvent ces cristaux sont lenticulaires et groupés en rosetts, les prétendues rosettes de barytine (Host, 2005).

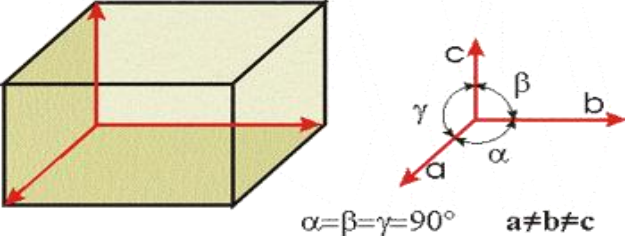


b. Clivage : Parfait dans une direction, faible dans les autres. La barytine grossière constitue divers agrégats, en général clivables.

c. Couleur : Elle est de couleur claire. Pure, elle est incolore ou blanche, mais on la trouve le plus souvent colorée diversement par des adjonctions. Elle devient alors safran, gris léger, brun pâle au brun foncé, mais aussi rouge, bleu, vert et noir.

d. Fluorescence : La baryte n'est pas ou très peu fluorescente, par contre, chauffée, elle devient luminescente

e. Genèse : La naissance de veines indépendantes de baryte comprenant assez souvent un mélange de fluorine est d'ordinaire en étroite connexion avec le massif de granit. Et c'est précisément la présence de baryte en morceaux dans ces veines qui a la plus grande importance pratique. Mais les dépôts déjà cités de roches sédimentaires dans lesquelles se forment parfois des tubercules sont aussi importants. Elle se dépose également dans certaines sources chaudes. On trouve fréquemment la baryte dans les cavités des filons associée aux minerais sulfureux, notamment ceux du plomb, de zinc et d'argent. Elle est formée par dépôt de solutions hydrothermales remontées des profondeurs surtout à des températures élevées. Souvent, elle constitue le filon à elle seule ou bien on la trouve dans des gisements sédimentaires. On appelle "*wolnyn*" certaines variétés de cristaux en colonne, qui se différencient quelque peu de l'évolution normale des cristaux (Host, 2005).

Tableau IV-5 : caractéristiques physico-chimique de la baryte

Composition chimique	BaSO₄
Nomination	Sulfate de Baryum
Classe minéralogique	Sulfates
Système cristallin	Orthorhombique
 <p style="text-align: center;">$\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ $a\neq b\neq c$</p>	
Forme des cristaux	
 <p style="text-align: center;">Pyramide</p>	 <p style="text-align: center;">Sphénoèdre</p>
Densité	4,48 La baryte est remarquable par son poids exceptionnel et la perfection de ses cristaux.
Dureté	3 à 3,5 sur l'échelle de Mohs
Fracture	Conchoïdale (comme celle du verre).
Trace	Blanche
Eclat	Vitreux

IV.1.7. Domaines d'utilisation

Les utilisations industrielles de la baryte sont basées sur sa densité, sa stabilité chimique et sa blancheur, elles concernent trois grands secteurs de l'industrie :

IV.1.7.1. L'industrie pétrolière

La baryte produite par la mine de Ain Mimoun est utilisée surtout pour les boues de forages. La

baryte est l'alourdissement le plus utilisé dans les boues de forages, elle est ajoutée aux boues de forage afin d'en augmenter la densité, les spécifications précises de la baryte pour boue de forage sont fournies par l'Américain Petroleum Institute (API). Le baryum (métal ou oxydes) ainsi que ses sels sont utilisés dans de nombreuses fabrications, notamment:

- Des tubes cathodiques (piégeage des gaz),
- Du papier photographique,
- Du verre,
- De peintures,
- De lubrifiants résistant à haute température,
- Des céramiques, émaux et porcelaines,
- En pyrotechnie,
- En teinturerie,
- Dans les boues de forage, comme fluidifiant (SAMIBAR, 2015).

IV.1.7.2. L'industrie chimique

Le sulfate de baryum $BaSO_4$ précipité chimiquement et pur est appelé « blanc fixe », il est utilisé comme charge blanche dans les peintures, encres

- Réduit en poudre, il sert de matière de charge pour le papier et d'autres produits.
- On l'utilise dans l'industrie textile, dans l'industrie du caoutchouc,
- En céramique, on l'emploie pour les glaçures et les émaux,
- On l'utilise également dans l'industrie du verre (SAMIBAR, 2015).

IV.1.7.3. L'industrie des charges minérales

Sa capacité à absorber les radiations est utilisée pour fabriquer des bétons denses comme barrières de protection contre les rayonnements radioactifs. On s'en sert aussi en médecine, surtout pour les radiographies du tube digestif sous forme de bouillie de baryte (Host, 2005).

IV.1.8. La pollution au baryum dans les compartiments de l'environnement

Le baryum est introduit dans l'air lors des procédés d'exploitation minière, de raffinage et de la production des composés de baryum. Certains de ses composés qui sont libérés lors des procédés industriels se dissolvent facilement dans l'eau et sont transportés dans les lacs, les fleuves et les rivières, comme ils sont solubles dans l'eau, ces composés peuvent parcourir de longues distances (lunntech, 2008).

Chapitre V

Zone d'étude

V.1. Présentation générale de la zone d'étude

La zone concernée par l'actuel travail se situe sur les hauts plateaux de l'Est Algérien et appartient au grand ensemble des massifs des Aurès de la wilaya de khenchela (Figure V-1). Elle fait partie des forêts domaniales d'Ouled Yagoub (Massif Ouled Yagoub) qui constitue en plus de fonction qu'elle remplit en qualité d'écosystème, un important patrimoine naturel.

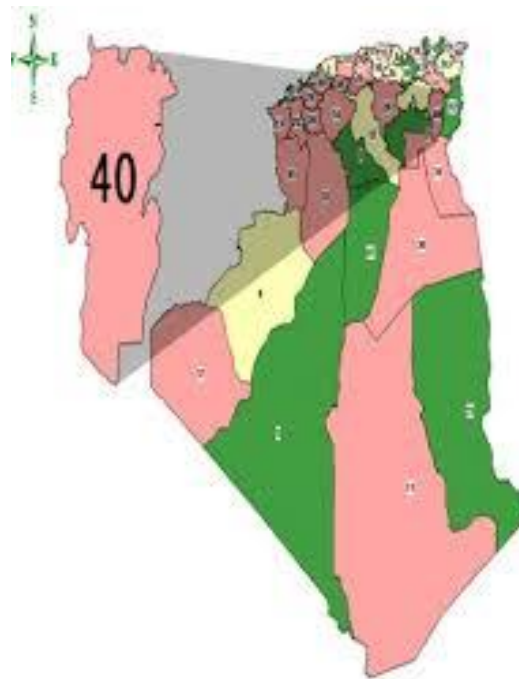


Figure V-1 : Situation géographique de la wilaya de Khenchela (DSA, 2011)

De par sa position géographique, la wilaya de Khenchela fait partie du grand ensemble régional des hauts plateaux, se positionne aux portes des grandes villes du sud du pays et non loin des villes métropolitaines de l'Est algérien (Figure V-1).

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 V-2) (conservation des forêts, 2012).

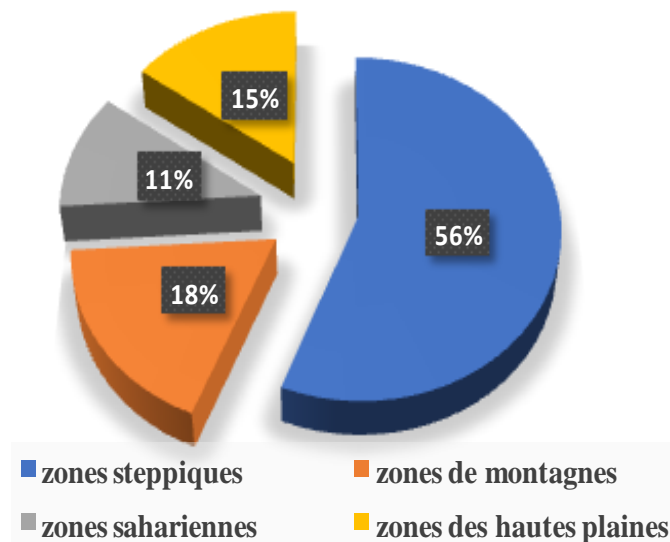


Figure V-2 : Zones naturelles de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012)

V.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 entre 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. Son étendue territoire couvre une superficie totale de 9715 Km² (Figure V-3).



Echelle de travail : 1/ 25 000
 Echelle d'édition : 1/ 250 000

Figure V-3 : localisation de la wilaya de Khenchela dans le nord de l'Algérie (DSA, 2011)

V.2. 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) ; à 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 Imloul.

V.2.1. Caractéristiques de la zone d'étude

V.2.1.1. Situation géographique

Le massif Ouled yagoub, d'une superficie de 22000 ha, constitue une réserve forestière importante dans le massif des Aurès. Il renferme l'unité d'exploitation des gisements de baryte est située au sein de la région dénommée Ain Mimoun, qui se trouve dans la commune de Tamza, wilaya de Khenchela. Située à 25 km au Sud Ouest du chef lieu de la wilaya en empruntant la route national n°88 reliant Khenchela à Batna. L'unité de traitement de minerai de baryte (SOMIBAR) située à une distance de 9 km à compter de la route nationale 88, dans une zone agropastorale.

V.2.2. Caractères géomorphologiques

V.2.2.1. Relief

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

- **Les hautes plaines du nord** : constitués par le bassin de 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.
- **La zone montagneuse** : occupe les parties centrales ouest de la wilaya. Elle est constituée de deux massifs importants : les Aurès et les monts de Nemamcha.
- **Les parcours steppiques et sahariens** : couvre la moitié sud de la wilaya.

grandes cultures.

- **Classe 4** : pente supérieure à 25 % : constituant de ce fait une contraintes 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.

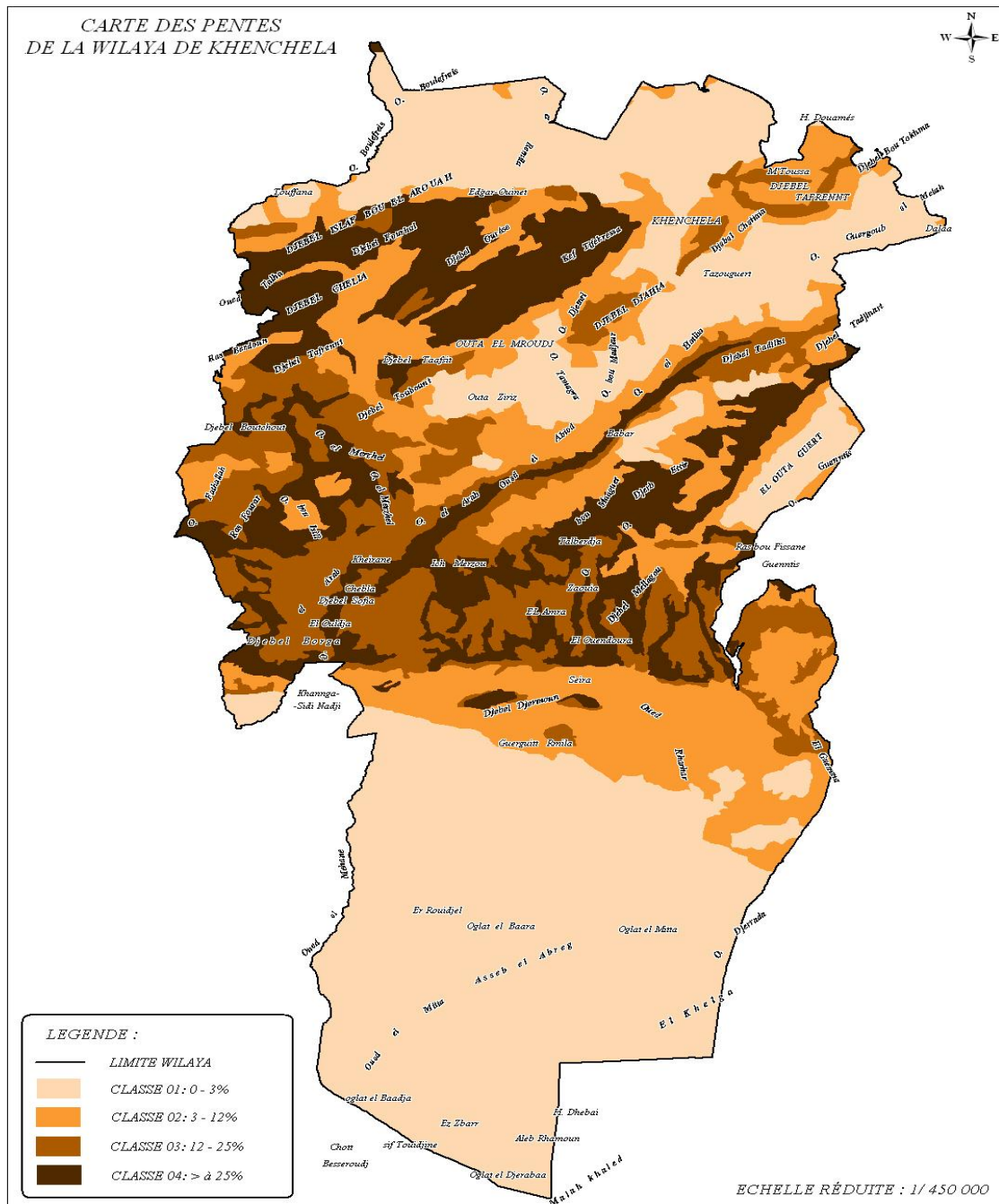


Figure V-5 : Carte des pentes de la wilaya de khencchela (DPAT, 2012).

V.2.2.3. 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).

V.2.2.4. 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 :

- **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.

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 compacte, 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).

V.3. La richesse floristique et faunistique

V.3.1. 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 V-1 :

Les essences principales qui y dominent 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 V-1 : Occupation du sol dans le massif des Ouled Yagoub (B.N.E.F, 2004)

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

Il y a aussi des essences secondaires qu'on rencontre en mélange avec le cèdre ou le chêne vert telles que : L'if (*Taxus baccatt*) ; 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.

V.3.1.1. Répartition générale des terres

Le tableau V-2, met en évidence les aspects suivants :

La superficie Agricole Utile (S.A.U) est relativement par rapport à la superficie agricole totale (S.A.T), elle ne représente que 29,93 %.

Les parcours représentent plus de la moitié de la S.A.T, ce qui est une caractéristique des territoires steppiques et saharien.

Tableau V-2 : Répartition générale des terres agricoles (DSA, 2011).

Répartition générale des terres	Superficie (ha)	%
SAU	232 359	22.39
Parcours et pacages	466 943	60.15
Autres	77 012	9.92
Superficie agricole totale	776 350	100

V.3.1.2. L'agriculture

L'agriculture constitue l'activité économique dominante de la wilaya de Khenchela. Sa vocation, principalement agro-sylvo-pastorale, résulte de la spécificité de son milieu physique, formé d'ensemble naturels d'une grande diversité. Le potentiel de développement dans ce secteur se situe dans : L'élevage ovin et bovin, les petits élevages, l'aliment de bétail, l'arboriculture et les pépinières agricoles.

V.3.2. La faune

La zone d'étude est beaucoup plus caractérisée par des espèces qui sont : le sanglier, le chacal, le renard, le loup et le lièvre, la chouette effraie, le grand duc, la cigogne blanche ...etc. (DE, 2013).

V.3.3. La vie aquatique

Il n'existe pas d'abondance relative aux poissons dans des oueds qui reçoivent périodiquement leurs eaux en provenance de la fonte des neiges des versants où se trouve le site d'exploitation minière (B.N.E.F, 2004).

V.4. Définition de la climatologie dans l'étude de l'environnement

La climatologie est une science de l'atmosphère, au même titre que la météorologie. Elle se situe essentiellement, quant à son objet, au niveau du sol, c'est-à-dire au niveau des processus morphologiques, hydrologiques et pédologiques. La climatologie 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'analyse de leur variabilité temporelle (Guyot, 1999).

V.5. Définition et place 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. Le milieu ambiant se caractérise 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, outre l'eau, 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).

V.5.1. Rôle et importance de la bioclimatologie

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.6. Etude climatique

V.6.1. Le climat

Le climat est l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée intégrée dans le long terme (Ramade, 2008). C'est aussi l'aspect du temps sur une longue période en un domaine spatial donnée. C'est un ensemble ordonné des états de l'atmosphère et de leurs interactions avec la surface sur une période donnée et sur une étendue déterminée. L'organisation Météorologique Mondiale (OMM) définit le climat comme : 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.6.1.1. 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.6.2. Les climats de montagnes

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

V.6.2.1. Relief et climat

a. l'échelle synoptique

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

- a) la radiation solaire, par air très calme, et de jour.
- b) 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 :

- **Une saison hivernale**, peu rigoureuse et assez pluvieuse, s'étalant de la fin de l'automne, jusqu'au début du printemps ;
- **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 des données recueillies de la station météorologique de khenchela localisée à El Hamma et située à une altitude de 983m s'étendant sur une période de 10 ans de 2007 à 2017 (Tableau V-3).

Tableau V-3 : Les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma 2017

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

V.6.2.2. Eléments et facteurs du climat

Ce sont des grandeurs servant à définir un climat que l'on nomme : élément 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 permettant 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 (Estienne et Godrad, 1970).

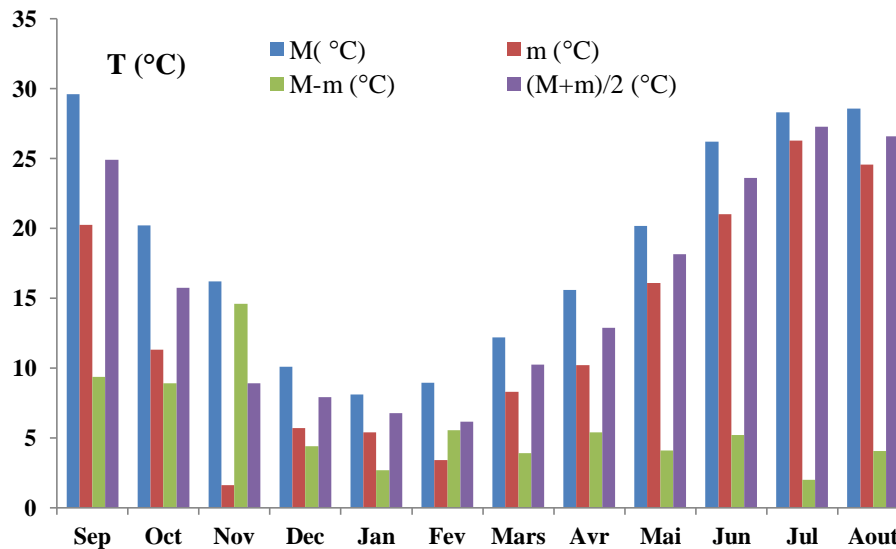


Figure V-6 : Diagramme des températures moyennes mensuelles de la période 2007-2017 dans la wilaya de Khenchela (station météorologique d'El Hamma, 2018)

Le mois le plus chaud est septembre avec une température moyenne maximale de 29,6 °C, et le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne minimale de 3,4 °C (Figure V-5).

b. Précipitations

Dans l'établissement du bilan hydrique, les précipitations sont l'élément le plus important parce qu'elles reflètent la circulation des eaux superficielles et souterraines. La pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes.

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le Coefficient Pluviométrique (CP), ce paramètre est très important dans la détermination des années excédentaires et celles déficitaires. Il est obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série à une station donnée.

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

Avec :

CP : coefficient pluviométrique.

P : Pluviométrie annuelle de l'année en (mm).

P_{moy} : 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

On a : **P_{moy}** = 465.62 mm, le **CP** de chaque année par rapport la série qu'on a prélevé 2007-2017 est noté dans le tableau suivant :

Tableau V-4 : Le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série 2007-2017 à la station d'El-Hamma.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
P(mm)	508.2	647.1	577.23	559.1	505,15	463,9	436,98	380,8	506,9	259,7	276,8
CP	1,091	1,389	1,239	1,200	1,084	0,996	0,938	0,817	1,088	0,557	0,594

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).

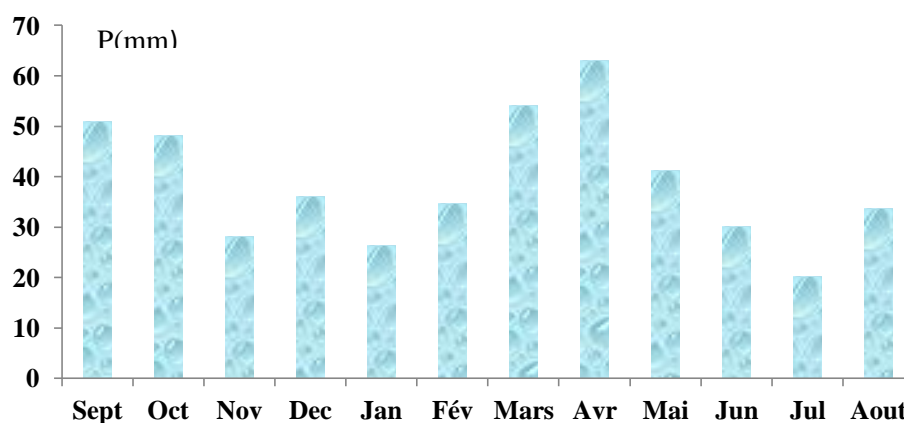


Figure V-7 : diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2007-2017) (station météorologique d'El Hamma, 2018)

Les précipitations moyennes mensuelles de la période (2007-2017) sont de 465,6 mm. Avril représente le mois le plus pluvieux, avec une moyenne de 62,9 mm et juillet le plus sec avec une moyenne de 20,06 mm (Figure V-6). La saison la plus pluvieuse se situe au printemps avec 158,18 mm suivie de l'automne avec 126,88 mm, l'hiver 96,79 mm et finalement l'été avec 27,9 mm.

e. 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. Cependant 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 légèrement en dessus (Estienne, 1970).

f. 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.6.2.3. 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).

L'évaporation moyenne varie d'un mois à l'autre. La valeur maximale est enregistrée en juillet avec une moyenne de 256,14 mm. La minimale est de 58,23 mm au mois de décembre comme l'indique la figure V-7.

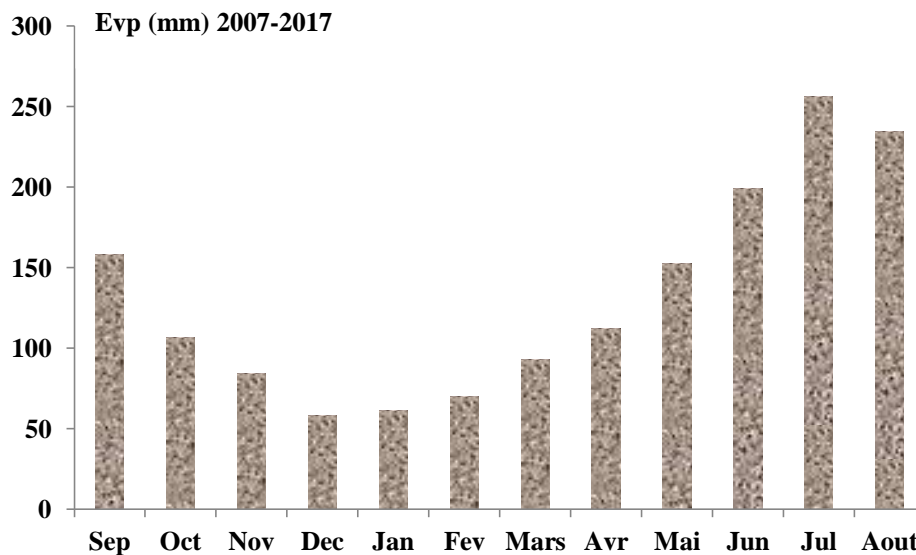


Figure V-8 : Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation de la période (2007-2017) (station météorologique d'El Hamma)

V.6.2.4. 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 C.W. Thornthwaite (1954), qui utilise la température de l'air et la latitude de la station, et qui est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 16 (10 t / I)^a \cdot k$$

Avec: $a = 0,016 I + 0,5$; $I = \sum i$; $i = (t / 5)^{1,514}$.

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, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque devient grande :

$L = 300 + 25t + 0.05 t^3$, où t est la température moyenne annuelle en C°.

V.6.2.5. L'humidité

C'est la masse de vapeur d'eau contenue dans une unité de volume d'aire (Estienne et Godard, 1970). Cette humidité joue un rôle important dans le confort ressenti par l'organisme qui y est soumis (Delams, 2012).

Le tableau V-5: indique les valeurs de l'humidité moyenne mensuelle à la station d'El Hamma (2007-2017) :

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Humidité moyenne mensuelle (%)	70,07	67,48	63,96	61,09	55,99	4,47	39,63	44,4	56,62	62,44	65,11	69,52

L'humidité relative s'exprime en pourcentage. 100% correspond à un air saturé en vapeur d'eau (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 déduite des lectures faites au psychromètre à trois moments de la journée (7h, 13h et 18h).

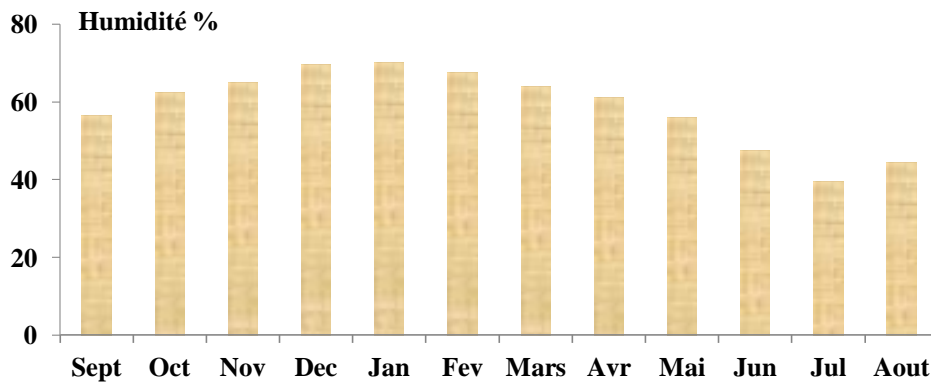


Figure V-9 : Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période 2007-2017 (station météorologique d'El Hamma)

Les hygrométries montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de janvier avec une moyenne de 70.07 % ce qui explique que c'est le mois le plus humide, et le plus faible durant le mois de juillet avec une moyenne de 39.63 % (Figure V-8)

V.6.2.6. 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 (El Khatri, 2003).

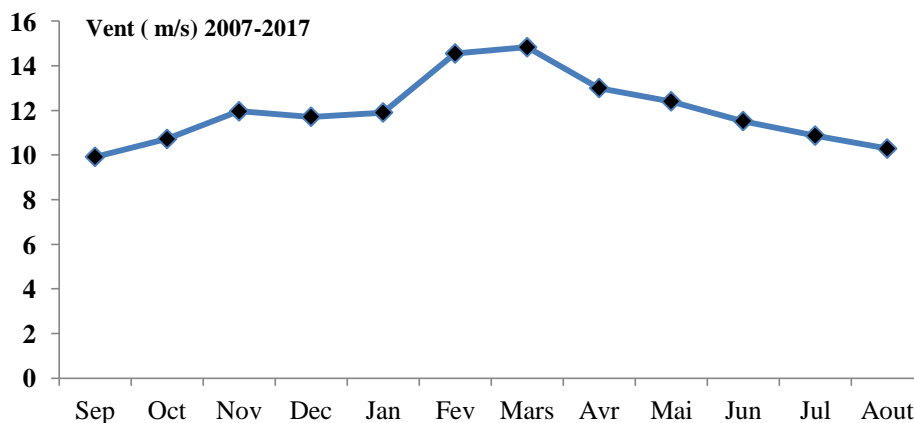


Figure V-10 : Graphe des moyennes des vitesses maximales instantanées des vents de la période (2007-2017) (station météorologique d'El Hamma)

La vitesse moyenne annuelle des vents dans la région d'étude de la période 2007-2017 est de 11,9 m/s

V.6.3. Les indices climatiques

Les indices permettent le rapprochement ou la comparaison de deux éléments climatiques importants. La complexité chaleur eau peut être caractérisée 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.6.3.1. 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_a : 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 la station d'El Hamma, P = 465,6 mm et T = 15,91 °C donc cet indice est égal à :

$$I_a = 465,6 / (15,91 + 10) = 17,96$$

Ce qui permet de dire que le climat est semi-aride avec un écoulement temporaire.

V.6.3.2. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS

D'après Gausсен (1953), 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.

$P < 2T$ (indice de Gaussen)

De cela, le graphique des courbes ombrothermiques 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 $p > 2T$.

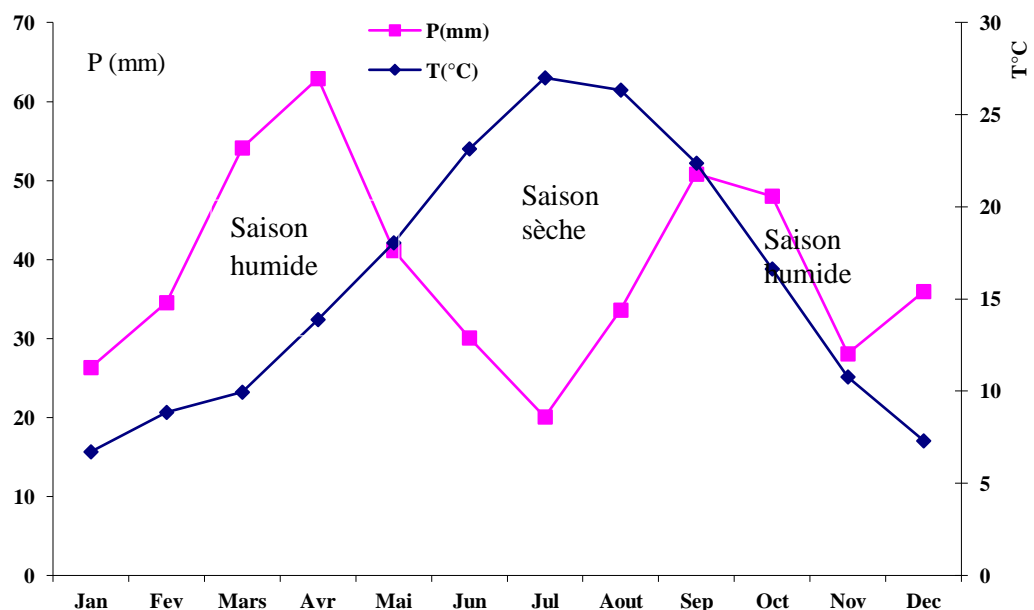


Figure V-11 : Diagramme ombrothermique de Gaussen de la zone d'étude (2007-2017)

Le diagramme Ombrothermique de Gaussen de la zone d'étude montre que la période sèche dure environ 121 jours (de mi de mai jusqu'au mi de septembre).

V.6.3.3. Quotient et climagramme pluviométrique d'Emberger

Emberger a écrit : 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) ;

Q₂ : quotient pluviométrique annuel en mm et

M-m : amplitude thermique extrême moyenne.

Dans le cas de ce travail :

$$P = 465,6 \text{ mm} ; M = 27,07 \text{ } ^\circ\text{C} ; m = 5,52 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Donc}$$

$$Q_2 = 73,87 \text{ mm}$$

En utilisant ce climagramme avec la valeur obtenue $Q_2 = 73,87 \text{ mm}$, $m = 3,4 \text{ } ^\circ\text{C}$, on trouve que la zone d'étude est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais.

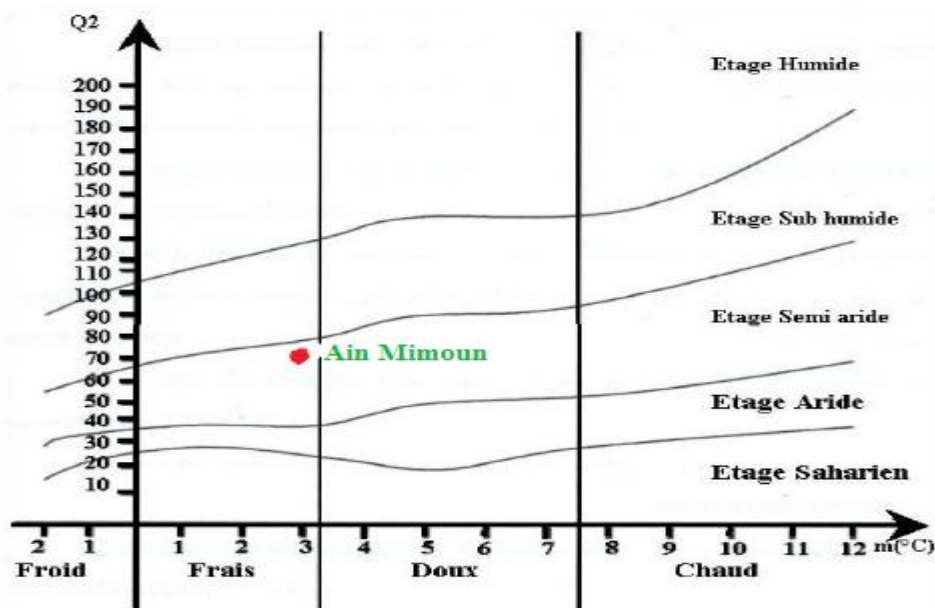


Figure V-12 : Climagramme d'Embergie de la zone d'étude

Conclusion

D'une manière générale, le climat de la zone se caractérise par deux saisons, l'une pluvieuse et froide, l'autre humide et douce. D'après le climagramme d'Emberger, la zone d'étude est située dans l'étage semi-aride à hiver frais.

L'étude du climat nous a expliqué que la zone d'étude est soumise à des conditions climatiques plus ou moins difficiles et sévères. Le sirocco qui souffle durant l'été provoque une augmentation notable de la température et une chute brutale de l'humidité atmosphérique.

L'examen des précipitations et des températures des différents postes pluviométriques a donné des résultats spécifiques aux sous bassin de Ain Mimoun avec :

- Une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 465,6 mm.
- Une température moyenne annuelle de l'ordre 15,91 °C.
- Une hygrométrie 62,66 %.

Chapitre VI**Matériel 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 une 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. Les échantillons sont alors prélevés au niveau de cinq stations à Ain-Mimoun, dont 2 en aval de l'usine, une proche de la source de pollution et 2 en amont. 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.2. Matériels utilisés**VI.2.1. Le GPS**

Le GPS (Global Positioning System) est le système américain de positionnement par satellite capable 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 ; et
- L'orientation.

VI.2.1.1. 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 VI-1).



Figure VI-1 : GPS de téléphone

VI.2.3. Spectrophotométrie "domaine UV/visible"

VI.2.3.1. 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 VI-2).



Figure VI-2 : Spectrophotomètre UV/visible (Unico 1200) utilisé

VI.2.3.2. Principe du Spectrophotométrie UV/visible

Dans une molécule, les transitions électroniques UV-visibles mettent en jeu les énergies les plus importantes de la chimie (environ de 13000 à 50000 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.

VI.2.3.3. 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 :

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

VI.3. Les stations de prélèvement

Les sites portés sur la carte de la Figure VI-3 sont situés dans la localité d'Ain Mimoun, qui constitue une localité de la Daira d'El-Hamma, Wilaya de Khenchela. Leurs environnements sont plus ou moins contrastés selon la proximité de la source de fumée.

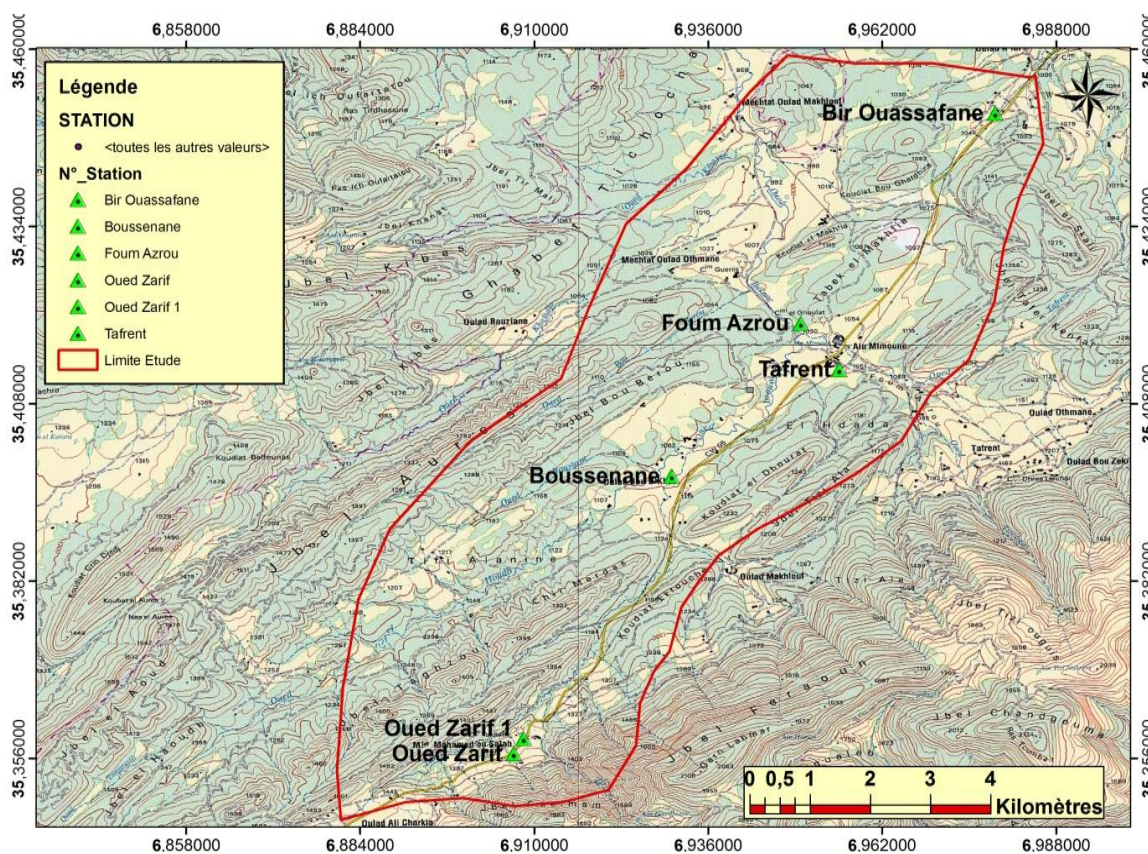


Figure VI-3 : Localisation des stations de prélèvements dans la zone d'étude

VI.3.1. Station 1 : Oued Zarif

Cette station de prélèvement, considérée comme station témoin, est située à Oued Zarif (Tagliate). Sa limite varie entre les deux série N°6 de Djebel Farroune et N°3 de Tamza, caractérisée par le chêne vert, l'altitude varie entre 1350 et 1450 m. Ses coordonnées géographique sont indiquées dans le tableau VI-1.

Tableau VI-1 : Coordonnées géographiques de la station 1

Site	Oued Zarif (Tagliate)		
	Latitude (N)	Longitude E	Altitude (m)
Station 1	35°21'32.17''	6°54'29.88''	1349

Elle est limitée par la série N°6 de Djebel farroune à l'Est, Djbel Taghzout à l'Ouest, par zone de Boucennane au Nord et la forêt de Cédraie au Sud. Cette station est située à environ 4 Km de l'usine de baryte.



Figure VI-4 : Station S1 préconisée dans le prélèvement des échantillons de *Quercus ilex* L. au cours d'une sortie sur terrain.

VI.3.2. Station 2 : Bousenane

Située à Bousenane, appartenant à la série N°6 de Djbel Farroune, son altitude varie entre 1100 et 1115 m, ses coordonnées sont figurées dans le tableau VI-2.

Tableau VI-2 : Coordonnées de la station S2

Site	Bousenane		
	Latitude (N)	Longitude E	Altitude (m)
Station 2	35°23'50.95''	6°55'50.23''	1075

Elle 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 (Figure VI-5). Ces coordonnées géographiques sont affichées dans le tableau VI-2.



Figure VI-5 : Station S2 préconisée dans le prélèvement des échantillons de *Quercus ilex* L. au cours d'une sortie sur terrain.

VI.3.3. Station 3 : Foum Azrou

Localisée à Foum Azrou, dans la série N°7 à 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 (Figure VI-6). Localisée la proximité d'usine ces coordonnées géographiques sont mentionnées dans le tableau VI-3.

Tableau VI-3 : Coordonnées de la station S3.

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



Figure VI-6 : Station S3 préconisée dans le prélèvement des échantillons de *Quercus ilex* L. au cours d'une sortie sur terrain.

VI.3.4. Station 4 : Tafrent

Située à Tafrent, série N°09, à proximité de la forêt, entre 1050 m d'altitude. Ces coordonnées géographiques sont mentionnées dans le tableau VI-4.

Tableau VI-4 : Coordonnées de la station VI-4.

Site	Tafrent		
	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)
Station 4	35°24'47.00''	6°57'19.81''	1063

Elle 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 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 la baryte et également à la transmission des fumées par les vents, sans oublier l'opération d'abattage pour le trafic routier (Figure VI-7).



Figure VI-7 : Station S4 préconisée dans le prélèvement des échantillons de *Quercus ilex* L. au cours d'une sortie sur terrain.

VI.3.5. Station 5 : 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 (Figure VI-8). Ses coordonnées sont déterminées dans le tableau VI-5. Cette station est située à environ 5 km de l'usine, caractérisée par une vaste Pinède.

Tableau VI-5 : Coordonnées de la station S5.

Site	Bir Oussefane		
	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)
Station 5	35°27'02 ,37 ''	6°58'43,65''	1028

**Figure VI-8** : Station S5 préconisée dans le prélèvement des échantillons de *Quercus ilex* L. au cours d'une sortie sur terrain.

VI.4. Mode d'échantillonnage

Les prélèvements sont réalisés au niveau des cinq stations selon l'échantillonnage aléatoire simple (un échantillonnage dans chaque station et de chacun trois répétitions sont réalisées) pour une meilleure représentativité des résultats.

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 noir fermés hermétiquement à l'abri de la lumière, pour éviter l'oxydation immédiate de la chlorophylle.

VI.4.1. Paramètre mesuré

L'objectif de cette étude est de montrer la réponse du chêne par la synthèse de la chlorophylle face à une source d'émission de fumée de l'usine de barytine, pour voir si cette dernière a un effet sur l'activité physiologique et biochimique du végétale dans le temps et dans l'espace.

VI.5. Paramètre chlorophylle

VI.5.1. Dosage de la chlorophylle

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), car elle représente la première cible de toute forme de pollution, principalement celle atmosphérique.

VI.5.1.1. Principe

La chlorophylle est extraite suivant la méthode de Witham et al., 1971 qui consiste à :

- Couper dans le limbe des feuilles du chêne en lambeaux, les mettre dans des boîtes noires stérilisées et hermétiques, pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière et l'évaporation de l'éthanol,
- Laisser macérer dans 10 ml d'une mixture d'acétone-éthanol, respectivement à 75 et 25% pendant 48 heures, pour toutes les répétitions (Figure VI-9).



Figure VI-9 : Étapes du dosage de la chlorophylle au niveau de laboratoire.

Codification : a) pesée de feuilles moules, b) + c) et d) mélange d'acéton-éthanol, e), f) et g) mise les feuilles lambeaux avec le mélange dans des boites noires, h) et i) lecture d'onde sur le spectrophotomètre.

- Procéder à la lecture des densités optiques des solutions à l'aide d'un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes : 645 nanomètres pour la chlorophylle et 663 *b* nm pour la chlorophylle *a*, après étalonnage de l'appareil avec la solution du blanc.

La détermination des teneurs en chlorophylles se fait selon les formules de Witham et al. (1970):

$$\text{Chl } a \text{ (mg/100mgMF)} = 12,7 \text{ DO (663)} - 2,59 \text{ DO (645)} \times V / (1000 \times W)$$

$$\text{Chl } b \text{ (mg/100mgMF)} = 22,9 \text{ DO (645)} - 4,68 \text{ DO (663)} \times V / (1000 \times W)$$

$$\text{Chl totale} = \text{Chl } a + \text{Chl } b$$

Avec :

V : Volume de la solution extraite.

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

Les chlorophylles *a* et *b* absorbent diverses radiations lumineuses, avec des pics dans le rouge (environ 650 nm) et le bleu (vers 450 nm) (Figure VI-10).

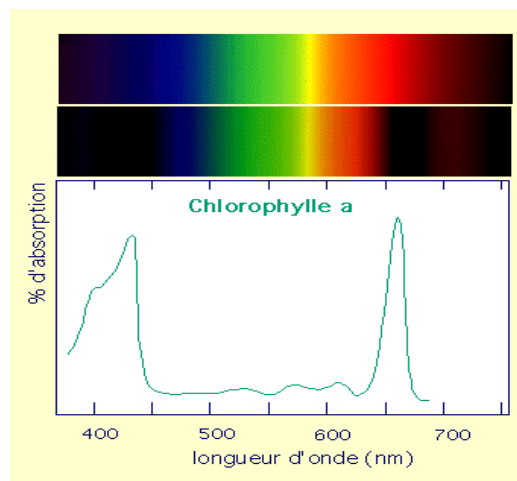


Figure VI-10 : Spectre d'absorption de la chlorophylle *a*.

Plusieurs molécules de chlorophylle *a* sont groupées en polymères, caractérisés chacun 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 (bleu) et 645 nm (rouge) (Figure VI-11).

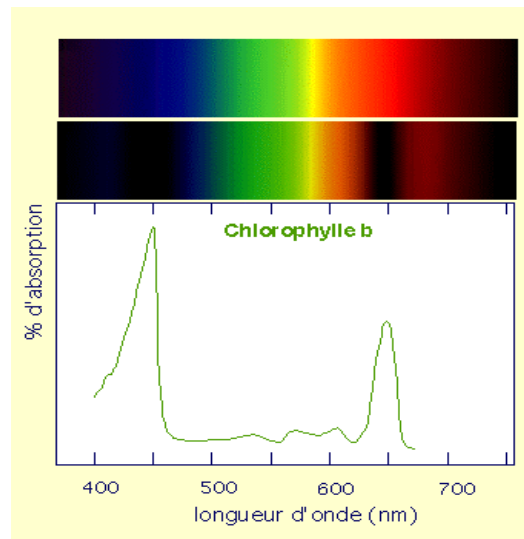


Figure VI-11 : Spectres d'absorption des chlorophylles b.

VI.5.2. Analyse statistique

Le progiciel Excel de Microsoft a été utilisé dans ce travail et nous 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 les chapitres relatifs à la Zone d'étude, Etude climatique et résultats et discussions.

Chapitre VII**Résultats et discussion**

Des observations sur l'état des plantes, leur apparence, les variations morphologiques ou les dégâts observés ont été observés régulièrement au cours de l'échantillonnage.

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 VII-1 : Dépôts de poussières blanches sur les feuilles de *Quercus ilex* L.

Dans les stations (S4) Tafrent et (S3) 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 ; ces poussières se déposent et adhèrent fortement à la surface foliaire (Figure VII-1).

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'usine de transformation de la baryte en station S2 et S3, exposées aux poussières, par rapport à d'autres spécimens se trouvant dans les stations où il n'y a pas de dépôts tels que Bir Ouassafane (S5) et Oued Zarif (S1) (Figure VII-2),

considérée comme station témoin, car elle présente des indices de non-pollution, telle que la couleur vive de la chlorophylle.



Figure VII-2 : Spécimens d'arbres de *Quercus ilex* L. utilisés au niveau de la station S1.

La majorité des feuilles de *Quercus ilex* L. dans les stations limitrophes de l'usine présentent des taches jaunâtres et brunâtres, donc une altération de la chlorophylle est certaine et par la même le phénomène de la photosynthèse doit être affecté (Figure VII-3).



Figure VII-3 : Aspects des taches observées sur les feuilles de *Quercus ilex* L.

Ce phénomène a été décrit sous conditions de pollution atmosphérique par (Mulgrew and Williams, 2000). Ce phénomène a été remarqué depuis plusieurs décennies déjà, et la pollution atmosphérique se manifeste par des nécroses et une décoloration des feuilles (Lemee, 1978).

VII.1. Résultats du dosage de la chlorophylle

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.

VII.1.1. 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 et S4 aussi bien pour la chlorophylle *a* que pour la chlorophylle *b* (Figure VII-1).

Les résultats montrent que les stations S1, S2 et S4 révèlent les teneurs les plus élevées, alors que la station S3, située à proximité de l'usine de transformation de la baryte et S5 située à environ 5 km en aval de l'usine, exprime des faibles teneurs en chlorophylles (Figure VII-4).

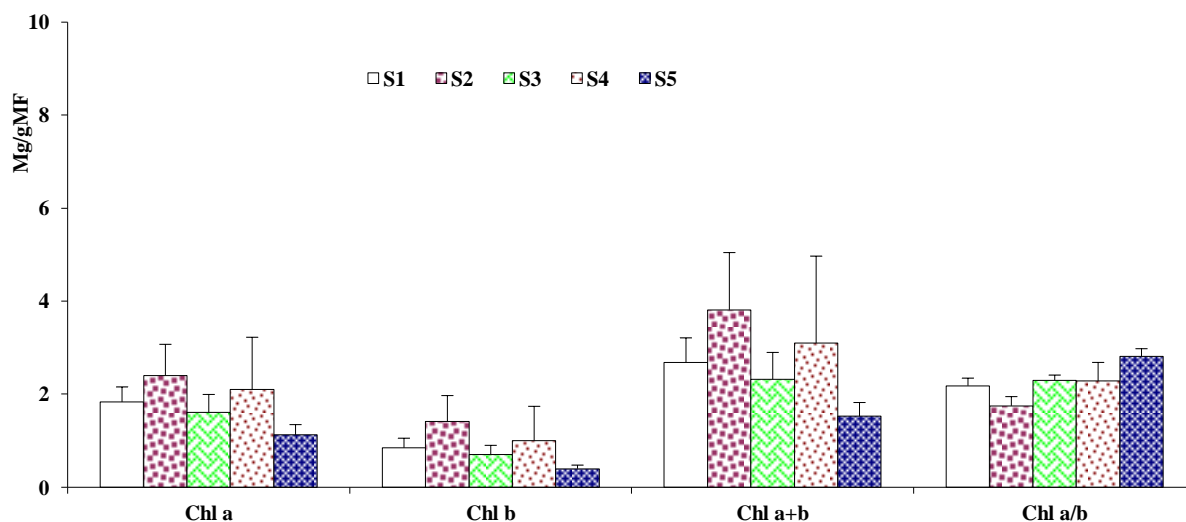


Figure VII-4 : Teneurs en chlorophylles des échantillons de chêne vert.

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 âgées comme un facteur écologique qui cause la détérioration de la qualité de l'environnement de la végétation.

Les teneurs en chl *a* en S2 et S4 présentent les valeurs les plus élevées avec respectivement $2,404 \pm 0,669$ mg/g MF et $2,098 \pm 1,127$ mg/g MF. Pour la chlorophylle *b*, les résultats montrent des valeurs allant de $1,41 \pm 0,561$ mg/g MF pour la station S2 et $1,00 \pm 0,74$ mg/g MF (Figure VII-4). 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.

Lehninger en 1989, affirmait déjà que les plantes supérieures contiennent environ deux fois plus de chlorophylle *a* que de chlorophylle *b*. Cette condition physiologique est vérifiée dans le cas des échantillons utilisés dans ce travail. Ces valeurs restent supérieures à celles calculées au niveau de la station témoin (S1), ce qui pourrait renseigner sur la stimulation qui peut être exercée par les poussières sur la synthèse de la chlorophylle.



Figure VII-5 : Aspects de feuilles de *Quercus ilex* L. endommagées

Dans l'atmosphère, les rejets de baryum résultent de la combustion du charbon, des produits pétroliers et des déchets. Les dépôts sur les sols sont pour les activités humaines : épandage de cendres et de boues d'épuration (IPCS, 1990). Dans le cas de ce travail, les poussières de baryte sont générées par les rejets de transformation de ce minerai, l'impact est donc plus conséquent vu que l'usine est localisée au cœur de la forêt.

VII.1.2. 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*, et sont caractérisées par une élévation de la teneur en chlorophylle dans

toutes les stations étudiées à l'exception de la station (S5) située en aval de l'usine de baryte. Les concentrations des chlorophylles $a+b$, et chl a /chl b sont affichées dans la Figure VII-4.

On remarque ainsi que le rapport chl a /chl b , en restant toujours supérieur à zéro, traduit l'adaptation de l'espèce étudiée au climat soumis aux rejets des fumées de l'usine de transformation de la barytine. Nous avons détecté des valeurs légèrement plus faibles au niveau de S5 située à 5 kilomètres en amont de l'usine avec $1,52 \pm 0,29$ mg/g MF.

Nous observons ainsi une baisse de concentration de la chlorophylle au niveau de la station S3, la plus proche de l'usine, avec $2,32 \pm 0,57$ mg/g MF. Ces mêmes dépôts ont un effet sur la photosynthèse et sur la respiration en colmatant les stomates des feuilles (Laitat, 1990).

A l'opposé, on enregistre des teneurs élevées aux niveaux des stations S1, S2 et S4 avec $2,68 \pm 0,52$ mg/g MF, $3,81 \pm 1,23$ mg/g MF et $3,10 \pm 1,86$ mg/g MF, respectivement. Lorsque la station S1 choisie comme un témoin parce qu'elle est très loin de la source de pollution, et les stations S2 et S4 sont proches à l'usine de transformation de la baryte.

Nous supposons que cette adaptation traduit une forme de résistance de l'espèce, car le comportement des plantes vis-à-vis des formes de pollution et pour faire face au stress engendré par les polluants, les végétaux ont développé trois principales stratégies :

— stratégie d'évitement, par laquelle les végétaux se protègent en limitant l'absorption des polluants. Ainsi, les végétaux peuvent limiter les entrées de polluants atmosphériques via une régulation de l'ouverture des stomates (Leitao, 2005). De même, ils peuvent limiter les flux d'éléments toxiques (I) en réduisant l'absorption racinaire, (II) en activant des mécanismes d'absorption plus spécifiques (mais plus coûteux d'un point de vue énergétique) ou (III) en activant des mécanismes d'excrétion de ces éléments via des transporteurs spécifiques (Pourrut, 2008),

— Stratégie de tolérance par laquelle les végétaux limitent la mobilité des polluants, à l'intérieur du végétal.

— Stratégie de détoxification par laquelle les végétaux limitent les effets toxiques induits par les polluants inorganiques et en particulier, le stress oxydatif.

Ainsi, les végétaux possèdent des systèmes complexes de détoxification des espèces réactives de l'oxygène produit :

- Des systèmes non enzymatiques : ascorbate, glutathion, vitamine E, caroténoïdes...
- Des systèmes enzymatiques : superoxyde-dismutases (SOD), catalases, peroxydases, peroxyredoxines (Pourrut et al., 2008).

Apparemment, les teneurs en chlorophylles sont stimulées par les rejets de Baryum dans l'atmosphère, parce que les stations où la concentration en baryum est dans le sens des vents se situent en aval de l'usine.

Donc, on peut traduire cette élévation de la teneur en chlorophylle totale dans les stations proches de la source de pollution 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).

L'adaptation de l'espèce 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 (Peter Langridge, 2017).

En ce qui concerne la bioaccumulation du baryum, peu de données sont disponibles, mais il semble que les plantes n'accumulent qu'une faible quantité de baryum. Cet élément est absorbé par les légumes, le raisin, les plantes fourragères, les arbres (feuilles du frêne rouge, du noyer noir, de l'hickory (caryer), du pin Douglas), des noix du Brésil et des champignons (IPCS, 1990). On estime le facteur de bioconcentration à 0,4 pour les plantes, 0,2 pour les insectes, et 0,02 pour les rongeurs. Aucune étude n'a été réalisée sur l'assimilation par les plantes du baryum atmosphérique malgré la faculté de celles-ci à absorber de nombreux polluants de l'air (Host et al., 2005).

Il semble aussi que cette source de pollution qui est l'industrie de transformation de la baryte, n'a pas de relation apparente avec le dépérissement du chêne vert, car la station témoin affiche des résultats similaires à ceux enregistrés au niveau des autres stations, ce qui pourrait

confirmer la non implication des déchets de baryte avec la présence de dépérissement des espèces forestières au sein de la forêt avoisinant l'usine.

En effet, certaines espèces peuvent être avantagées par les effets de la pollution atmosphérique. C'est pourquoi, dans bien des cas, à travers des changements de composition des communautés et des perturbations des écosystèmes, la pollution atmosphérique est à l'origine d'un déclin de la biodiversité, mais sans forcément réduire la biomasse.

Au cours de la lecture sur le spectrophotomètre, nous avons constaté des valeurs importantes des absorbances, nécessitant d'effectuer des dilutions importantes, car la couleur des extraits de chlorophylles sont d'un vert très foncé.

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 industrielle dans l'environnement, et les pigments photosynthétiques sont presque les plus endommagés par la pollution de l'air (Giri et al., 2013).

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 la chl *b* ; provoquant ainsi un déclin aperçu dans le développement des arbres qui sont à proximité des industries, par exemple.

Conclusion générale

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. En remontant le long des chaînes trophiques, ces perturbations finissent par affecter l'ensemble de l'écosystème. Néanmoins, la biomasse n'en est pas forcément réduite pour autant, car des espèces résistantes comme en a vue le chêne, le cèdre, le céprai...etc peuvent occuper les niches laissées vides. Les communautés qui en résultent sont plus uniformes, ce qui aboutit éventuellement à des écosystèmes moins stables.

L'impact néfaste de la pollution atmosphérique 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).

En effet, la pollution atmosphérique pourrait avoir des conséquences sur des organismes essentiels pour nos sociétés.

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 d'une source de pollution industrielle.

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 (Peter Langridge, 2017).

En ce qui concerne la bioaccumulation du baryum, peu de données sont disponibles, mais il semble que les plantes n'accumulent qu'une faible quantité de baryum. Cet élément est absorbé par les légumes, le raisin, les plantes fourragères, les arbres (feuilles du frêne rouge, du noyer noir, de l'hickory (caryer), du pin Douglas), des noix du Brésil et des champignons

(IPCS, 1990). On estime le facteur de bioconcentration à 0,4 pour les plantes, 0,2 pour les insectes, et 0,02 pour les rongeurs. Aucune étude n'a été réalisée sur l'assimilation par les plantes du baryum atmosphérique malgré la faculté de celles-ci à absorber de nombreux polluants de l'air (Host et al., 2005).

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 de ces plantes.

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 poussière (Ozenda, 1982 citée par Belhadj., 2011), dans ce cas la poussière accumulée sur les feuilles de Genévrier contient de la baryte selon que la localisation soit proche de l'usine de transformation de Baryte à Ain Mimoun ou à proximité de la route.

Perspectives

Plusieurs aspects de la vie d'un aérosol dans l'atmosphère ont été abordés au cours de plusieurs travaux de recherche, dans ce travail nous avons abordé les connaissances sur les sources de l'aérosol (primaires et secondaires par nucléation), Et il peut être très difficile d'étudier les implications à long terme des effets des aérosols sur l'atmosphère et sur les écosystèmes. Ainsi l'étude des changements dans la composition des communautés de plantes pérennes, comme les arbres par ces aérosols requièrent un suivi sur de très longues durées.

L'utilisation des caractères biologiques des végétaux pour l'évaluation de la pollution atmosphérique est très importante, surtout sur le plan financier car ce moyen est moins coûteux. Pour cela, nous avons un ensemble de perspectives qui complètent ce travail dans les prochaines recherches, et on propose de:

- Elargir le champ des études d'impact du dépôt atmosphérique, et pourquoi pas l'obtenu des conclusions devront être précisées grâce à de nouvelles mesures de flux et de nouveaux modèles de dépôt avec une meilleure résolution spatiale et temporelle sur plusieurs régions surtout qu'elles souffrent de ce genre de pollution.
- Mesurer les quantités de poussières sur les surfaces foliaires.
- Etudier plusieurs paramètres biochimiques telles que les sucres, les acides aminés.
- Elargir l'espace de l'étude
- Chercher d'autres sources que l'industrie qui représente une source probable de particules en suspensions.

Références bibliographiques

A

- Achhal, (1979). Le chêne vert dans le Haut Atlas central : Etde phytoécologique. Problèmes posé par les aménagements de la chênaie. Thèse Doct. 3^{ème} cycle, Univ. Aix. Marseille. 116p.
- A.E.E., (2007). Agence européenne de l'environnement.
- Agrawal A., Narain N., (2007). Exploration de la variabilité géographique des Cèdres méditerranéens : *Cedrus atlantica*, *Cedrus libani* et *Cedrus brevifolia*. Thèse. Magister. Sci. agr., INA, El-Harrach, Alger. 107 p.
- Aikawa M., Hiraki T., Eiho J., (2008). Study on the acidification and pollution of precipitation based on a data set collected on a 0.5-mm precipitation basis. Atmospheric Environment 42, p 7043-7049.
- Air Pur., (2009). Effet de la pollution sur l'environnement. Un concept pour de l'air pur. Bci Betriebs-AG
- Alcaraz C., (1970). Détermination de la limite de l'influence de la brise marine, son action sur la répartition de la végétation oranaise. Bull. Soc. Hist. Mat. Afr. Nord, 61 :87-93.
- Air pur, (2009). Effet de la pollution sur l'environnement.
- Almeida S.M., Pio C.A., Freitas M.C., Reis M.A., Trancoso M.A., (2005). Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a sub-urban area at the Western European Coast. Atmospheric Environment, 39 : 3127-3138.

B

- Baladah. F., (2012). Mémoire de magister en mines, revalorisation des rejets barytiques issues des jigs et impacts environnemental : cas de la mine d'Ain Mimoun, Khenchela. 3-77 p.
- 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.
- Barbero, M., Bonin, G., Loisel, R., Quézel, P. (1992). Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the Mediterranean basin. Vegetatio, 87, 151-173.
- B.N.E.F, (2004). Plan d'aménagement des forest d'Ouled Yagoub et Beni Oudjana. Rapport de travail.
- Boucher O., (2007). Le double jeu des aérosols. La Recherche 414 : 40-43.
- Boucher O., (2012). Aérosols atmosphériques, propriétés et impacts climatiques. Springer. 248p.
- Boudy, P., (1952). Guide de Forestier en Afrique du Nord. Paris, Maison Rustique. 509 p.

Boudy P., (1955). Economie forestière Nord Africaine, description forestiere de l'Algérie et de la Tunisie, T. IV: 483. Larose Edit., Paris.

Bowes G. B., Mauseth J. D., (2012). Structure des plantes. Ed. Quæ. Pp : 30-64.

C

Caudullo G., (2017). Chorological maps for the main European woody species.

Chakhparonian M., Zryd J. P. (1995). Développement d'un système biologique de surveillance de pollution atmosphérique : étude sur des populations *d'arbiodopsis thaliana* sous conditions contrôlées. Université de lausanne. Laboratoire de phytogénétique cellulaire. Pp : 3-7.

Creason, J.P., Hinners, T.A., Bumgarner, J.E., Pinkerton, C., (1975). Trace element in air as related to exposure in metropolitan New York. Clin. Chem. 21 (4) : 603 – 612.

Cuny D. ; Rzepka-Cuny M.A., (2009). Evaluation des capacités d'épuration de l'air intérieur par les plantes et de la phytotoxicité des polluants. Aspects généraux et apports de la phase i du programme PHYTAIR. P : 31-42.

D

Dajoz, R., (1980). Ecologie des insectes forestiers. Ed. Gauthier-Villars. Paris : 489 pp.

DE., (2013). Direction de l'environnement de la wilaya de Khenchela.

Débeaux, M.O., (1894). Catalogue méthodique et raisonné de toutes les plantes vasculaires et spontanées observées jusqu'à ce jour dans cette contrée. Librairie des sciences naturelles, Paris. 468 p.

De Parcevaux, S., Huber, L., (2007). Bioclimatologie Concept et application. Edition Quae. P 24

Degobert, P., (1992). Automobile et pollution. Editions techniq-Paris, P4.

Delmas, R., Mégie G., Peuch V., (2005). Physique et chimie de l'atmosphère, Paris : 639 p.

Delams, R., (2012). Atmosphère, Océan et climat. Edition belin. Bibliothèque scientifique. P 11.

D.G.A.C., (2013). Direction générale de l'aviation civile. Rapport de l'environnement, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

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 Kkhenchela. Rapport de travail.

DSA., (2011). Service des statistique ; direction des services agricole de la wilaya de Khenchela. Rapport de travail. Pp : 15-31.

E

El Khatri, S., (2003). Manuel du cours de Climatologie. Ecole Hassania des Travaux Publics
Direction de la Météorologie Nationale. 43 p.

E.I.E., (2013). Etudes d'impact sur l'environnement de la wilaya de Khenchela, sur la région
d'Ain Mimoun. Rapport de travail.

Emberger, L., (1955). Une classification biogéographique des climats. Rev. Trav. Labo. Bot.
Geol.Zool. Fac. Sci., Montpellier, 7 : 1 – 43.

Estienne, E. P., Godard, A., (1970). Climatologie. Armande Coline. Collection. P 39.

F

Farineau, J., Morot-Gaudry, J.F., (2006). Processus physiques, moléculaires et
physiologiques. Ed Quae. 460 p.

Faurel, L., Laaffite. L., (1949). Fracteurs 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.

Faurie, G., Ferra, C., Mèdori, P., Dèuaux, J., Hemptinne, J.L., (2002). Ecologie. Approche
scientifique et pratique ; 5^{ème} éditions. Pp : 134-136.

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

G

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.

Guyot, G., (1999). Climatologie de l'environnement. 2ème édition Dunod. p 525.

Gregory, A., Carter, B., Spiering, A., (2002). Optical Properties of Intact Leaves For
Estimating chlorophyll concentration. Pp : 1424-1432.

H

Harrison, 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.

Hopkins, W.G. (2003). Physiologie végétale. 2ème édition De Boeck. 514p.

Horvath, H., (1995). Estimation of the average visibility in central Europe. Atmospheric
Environment 29, p 241-246.

Host, S., Elluin, M., Krakowiak, D., (2005). Atelier Santé Environnement. IGS-ENSP.

Huang, K., Zhuang, G., Xu, C., Wang, Y., Tang, A., (2008). The chemistry of the severe acidic precipitation in Shanghai, China. *Atmospheric Research* 89 : 149-160.

J

Jeandel, C., Mosseri, R., (2011). *Le climat à découvert*. CNRS editions. 285 p.

I

INRA., (2005). *L'Institut national de la recherche agronomique. Rapport d'activité 2005*.

I.P.C.C., (2001). *Climate change 2001, the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. 881 p.

I.P.C.S., (1990). *Barium and Salts, Environmental Health Criteria 107-barium*.

I.R.D., (2001). *Institut Régionale de Développement. Rapport de travail*. 3 P.

L

Laberche, J.C., (1999). *Biologie végétale, édition DUNOD*. P 159-160.

Laitat, É. (1990). *Écophysiologie du pluviollessivage foliaire chez *Picea abies* (L.) Karst*. Thèse doct. sci. agron., Fac. sci. agron. Gembloux, Belgique, 237 p.

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.

Leitao, (2005). *Les plantes face aux polluants*.

Lemée, G., (1978). *Précis d'écologie végétale*, Paris, Masson, 285 p.

Luntech, (1998-2008). *Traitement de l'eau et de l'air*. France, Belgique, Suisse, Canada, Pays Bas, Rotterdam Seweg. 402 p.

Lehninger, A.L., (1989). *Principes de biochimie. Aminoacides et peptides ; La photosynthèse*. Eds. Flammarion Medecine-Science, Johns Hopkins University, Paris. 1001 p.

Lehninger, A. L., (2008). *Principles of biochemistry*. 1158 p.

Lieutaghi, P., (2004). *Le livre des Arbres, Arbustes et Arbrisseaux*. Ed Actes Sud. 1322 p

M

Masclat, P., (2005). *Environnement. Pollution atmosphérique (causes, conséquences, solutions, perspectives)*, édition ellipses. Pp : 72-80.

Meyer, S, Reeb, C., Bosdevei X., (2013). *Botanique. Biologie et physiologie végétale*. Ed. Maloine. 2^{ème} édition révisée ; P 127-129.

Mulgrew, A., Williams, P., (2000). Biomonitoring of air quality using plants, air hygiene report n°10 W.H.O CC for air quality management and air pollution control. 200 p.

N

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.

O

O.M.S, (Organisation Mondiale de la Santé), (2015). Publication des premières valeurs guides de l'O.M.S sur la qualité de l'air intérieur consacrées aux substances chimiques.

Ozsoy, T., Ornektekin, S., (2009). Trace elements in urban and suburban rainfall, Mersin, Northeastern Mediterranean. Atmospheric Research. 94, p 203-219.

P

Pääkkönen, E., Vahala, J., Holopainen, T., Karjalainen, R. Karenlampi, L., (1996). Growth responses and related biochemical and ultrastructural changes of the photosynthetic apparatus in birch (*Betula pendula*) saplings exposed to low concentration of ozone. Tree Physiology. 16 : 597 – 605.

Péguy C.H.P., (1970). Précis de Climatologie. Masson & Cie, Editeurs. 468 p.

Piret, T. et Kooken, G., (1979). Etude du transfert air-plante du Cd et du Zn. Bull. Rech. Agron. Gembloux, 14 (2) : 177-186

Pourrut, B., Perchet, G., Silvestre, J., Cecchi, M., Guiresse, M., Pinelli E., (2008). Potential role of NADPH-oxidase in early steps of lead-induced oxidative burst in *Vicia faba* roots. Journal of plant physiology. 165 (6) : 571 – 576.

Q

Querol, X., Alastuey, A., Rodriguez, S., Plana, F., Mantilla, E., Ruiz, C.R., (2001). Monitoring of PM₁₀ and PM_{2.5} around primary particulate anthropogenic emission sources. Atmospheric Environment 35, p 845-858.

Quezel P., (1979). La Région Méditerranéenne française et ses essences forestières. Signification écologique dans le contexte Circum-méditerranéen. Font Medit. 1 (1) : 7-18

R

Rabaa, C., (2008). Le chêne vert, le chêne liège. Ed Actes sud. 88 p.

Rana, B.C., (1995). Pollution and biomonitoring. Eds. McGraw-Hill Publishing Company limited, New Delhi, 452p.

Ramade, F., (2005). Éléments d'écologie, écologie appliquée. 6^e Ed Dunod. 864P.

Ramade, F., (2008). Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Dunod-paris. P 586.

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.

Renoux, A., Boulaud, D., (1998). Les aérosols : Physique et Métrologie. Lavoisier, Paris, 293p.

S

Sauvage, C., (1961). Recherches géobotaniques sur les subéraies marocaines. Trav. Inst. Sci. Chérifien, Rabat, sér. Botanique, 21, 462 p

Schneider, J., Voigt C., (2011). Chp 1 : Introduction to Aerosol, Exp. Met. I : Physics and Chemistry of Aerosols and Ice Clouds.

SAMIBAR, (2005). Société des Mines de Baryte d'Algérie / Unité Khenchela.

Stortini, A., Freda, A., Cesari, D., Cairns, W., Contini, D., Barbante, C., Prodi, F., Cescon, P., Gambaro, A., (2009). An evaluation of the PM_{2.5} trace elemental composition in the Venice Lagoon area and an analysis of the possible sources. Atmospheric Environment 43: 6296-6304.

S Tewari A., N Vishwanathan, (2008). Longman Science Biology. Ed PEARSON. 128 page.

U

US EPA, (1984). Drinking water criteria document for barium.

V

Veschambre, V., (2004). Appropriation et marquage symbolique de l'espace : quelques éléments de réflexion. ESO : travaux et documents de l'UMR 6590. 21 : 73-77.

Voet, D., and Voet, J.G., (1998). Biochimie. De Boeck Université, Paris, Brussels, pp: 648-782.

Vogel, B., Vogel H., Baumer D., Rinke R., Stanelle T., (2009). The comprehensive model system COSMO-ART - Radiative impact of aerosol on the state of the atmosphere on the regional scale. Atmospheric Chemistry and Physics 9, p 8661-8680.

W

Weinman, S., Mehul, P., (2004). Toute la biochimie. DUNOD. 452 p.

Widding, J.B., Carlson, R.W., Stukel, J.J., Bazzaz, F.A., (1975). Aerosol deposition on plant leaves. *Env. Sci. And Techn.*, 9 :151-153

Witham, F.H., Blaydes, D.F., Delvin, R. M. (1971). Experiments in plant physiology. Eds. Van Nostrand Reinhold, 245p.

Z

- Zaninotto, V., Faure, E., **(2015)**. Extrait de Pollution atmosphérique, biodiversité et écosystèmes. Ecole Normale supérieure ENS. P 2.
- Zitouni, W., **(2010)**. Croissance et productivité d'un Taillis de chêne vert à la lisière de la pinède Ain Mimoun –Massif d'Ouled yagoub. Mémoire de Magister.
- Zulfacar, A., **(1975)**. Végétation and Urban Environnement. J. Urban Planning Develop. Div. 101 : 21-33.

Réponse à la pollution atmosphérique par la chlorophylle du Chêne vert dans la commune d'Ain Mimoun

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. L'espèce préconisée dans cette étude est le chêne vert 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 le limbe des feuilles de chêne vert de cinq stations, pour prélever et analyser les teneurs en chlorophylles, 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 élevées 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 S4 et faibles dans les stations S3 et S5 comme. 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.

Response to atmospheric pollution by green oak chlorophyll in the commune of Ain Mimoun

Abstract

The present work is devoted to the study of the impact of a potential pollution induced by visible gaseous effluents, in the commune of Ain Mimoun in the Wilaya of Khenchela; where the forest is subject to constraints of industrial particle discharges from the baryte exploitation factory. The species recommended in this study is the holm oak which is an essence used for its properties of indicator of the presence of polluting elements in the ecosphere by its apparent tolerance. We carried out samples on the limbus of the green oak leaves of five stations, to collect and analyze the chlorophyll contents, in the laboratory of the Faculty of Sciences of Nature and Life. Fluctuations in chlorophyll levels between the near and far sampling stations of the factory were found. The results revealed high concentrations of chlorophylls in the stations considered to be the most polluted. These grades differ from one station to another. They are high at stations S1, S2 and S4 and low at stations S3 and S5. Visible air pollution in the study area is alarming and the consequences can be abiotic stress in the holm oak that can lead to dieback.

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

الاستجابة لتلوث الغلاف الجوي بواسطة يخضور البلوط الاخضر في منطقة عين ميمون

ملخص

ويكرس هذا العمل لدراسة تأثير التلوث الناجم عن المخلفات الغازية المرئية ، في منطقة عين ميمون في ولاية خنشلة ؛ حيث تخضع الغابات لقبود تصريف الجسيمات الصناعية من مصنع استغلال البارييت. الأنواع الموصى بها في هذه الدراسة هي البلوط ، وهو جوهر يستخدم لخصائصه كمؤشر لوجود العناصر ملوثة في الغلاف الجوي من خلال تحمله الظاهر. أجرينا عينات على حواف أوراق البلوط الأخضر من خمس محطات، لجمع وتحليل محتويات الكلوروفيل ، في مختبر كلية علوم الطبيعة والحياة. تم العثور على تقلبات في مستويات الكلوروفيل بين محطات أخذ العينات القريبة والبعيدة من النبات. وكشفت النتائج عن تراكيز عالية من الكلوروفيل في المحطات التي تعتبر الأكثر تلوثاً. هذه الدرجات تختلف من محطة إلى أخرى. وهي عالية في المحطات S1 و S2 و S4 و قليلة في المحطتين S3 و S5. تلوث الهواء المرئي في منطقة الدراسة ينذر بالخطر ويمكن أن تكون العواقب الإجهاد غير الحيوي في البلوط الذي يمكن أن يؤدي إلى موته.

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

