

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE



N° :.....

DOMAINE : SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE
FILIERE : ECOLOGIE.
OPTION : ECOLOGIE DES MILIEUX
NATURELS

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par:

BOUSBAA Meryem

LEBCIR Khadidja

Intitulé

**UTILISATION DES VEGETAUX AUX
BORDS DE L'AUTOROUTE EST-OUEST
COMME INDICATEURS DE
POLLUTION ATMOSPHERIQUE :
CAS DE LA VILLE DE CONSTANTINE**

Soutenu devant le jury composé de:

BOUNAR Rabah	MCA	Université de M'Sila	Président.
BOUTERAA Oualid	MAA	Université de M'Sila	Encadreur.
NOUIDJEM Yassine	MCA	Université de M'Sila	Examineur.

Année universitaire : 2019 /2020

DEDICACE

A mes très chers parents

BOUSBAA Meryem

DEDICACE

Je dédie ce travail à ma très chère famille.

Fais aussi un hommage à mon père ‘’ Mohamed’’ qui fut choisie par le destin de nous quitter très tôt. Puisse Allah lui accorder sa lumière éternelle.

Mention spécial à mon binôme, ma très chère amie Meriem Bousbaa, la meilleure personne que j’ai connaisse au cours de ma vie universitaire.

A tous mes amis, collègues et connaissances.

LEBCIR Khadidja

REMERCIEMENTS

Premièrement, nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadreur Dr BOUTERAA Walid pour sa qualité d'enseignement, ses conseils judicieux et son soutien, nous avons un grand plaisir de travailler avec vous, merci de tout ce que vous avez fait pour la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions ensuite les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail

Merci à toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : structure de l'atmosphère terrestre (Hache ,2014).	4
Figure II.1 : Présentation de la zone d'étude	21
Figure II.2 : Hypsométrie de la wilaya de Constantine (extraite d'un model numérique de terrain d'une résolution à 30 m)	22
Figure II.3 : Réseau hydrographique de la wilaya de Constantine (extrait d'un model numérique de terrain d'une résolution à 30 m)	23
Figure II .4 : Lithologie de la wilaya de Constantine (extraite de la carte géologique Constantine au 1/200000)	24
Figure II.5: précipitations Moyennes mensuelles dans la station de constantine (1988_2018).	26
Figure II.6: Répartition saisonnière des précipitations dans la station de constantine (1988_2018).	27
Figure II.7: Variations des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales	28
Figure II.8: humidité moyenne mensuelle pour la station de Constantine (1988_2018)	29
Figure II.9:Diagramme ombrothermique de BAGKOULS et GAUSSEN dans la station de Constantine (1988_2018).	31
Figure II.10: Climagramme d'Emberger pour la station de Constantine (1988_2018).	32
Figure III.1 : Localisation des stations d'échantillonnage	37
Figure III.2 : Points d'échantillonnage de la station S1	38
Figure III.3 : Points d'échantillonnage de la station S2	38
Figure III.4 : Points d'échantillonnage de la station S3	39
Figure III.5 : Points d'échantillonnage de la station S4	39
Figure III.6 : Points d'échantillonnage de la station S5	40
Figure III.7 : Points d'échantillonnage de la station S6	40
Figure III.8 : Points d'échantillonnage de la station S7	41
Figure III.9 : Points d'échantillonnage de la station S8	42
Figure III.10 : Points d'échantillonnage de la station S9	42
Figure III.11 : Points d'échantillonnage de la station S10	43
Figure III.12 : Points d'échantillonnage de la station S11	43

Figure III.13 : Points d'échantillonnage de la station S12	44
Figure IV.1: variation de la teneur en chlorophylle totale en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	51
Figure IV.2: variation de la teneur en chlorophylle totale en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	51
Figure IV.3: variation de la teneur en chlorophylle (a) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	52
Figure IV.4: variation de la teneur en chlorophylle (a) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	53
Figure IV.5 : variation de la teneur en chlorophylle (b) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	53
Figure IV.6 : variation de la teneur en chlorophylle (b) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	54
Figure IV.7 : variation du rapport de la Chl (a)/Chl (b) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	55
Figure IV.8 : variation du rapport Chl(a)/Chl(b) en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	55
Figure IV.9 : Variation de proline en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	56
Figure IV.10: variation de proline en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	57
Figure IV.11: variation du des sucres solubles en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	58
Figure IV.12 : variation des sucres solubles en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	59
Figure IV.13 : variation des particules extraite par l'EDTA en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	60
Figure IV.14 : variation des Particules en Suspension extraite par l'Hcl en fonction des stations de prélèvement chez <i>Acacia retinoides</i>	61
Figure IV.15 : variation des particules en Suspensions extraite par l'EDTA en fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	62
Figure IV.16 : Variation des Particules en Suspensions extraite par l'Hcl en	62

fonction des stations de prélèvement chez <i>Nerium oleander</i>	
Figure IV.17 : Concentration du cadmium dans les feuilles et l'écorce des arbres étudiés collectés des zones urbaines et de contrôle (Alatou et Sahli 2019)	65
Figure IV.18 : Concentration du cuivre dans les feuilles et l'écorce des arbres étudiés collectés des zones urbaines et de contrôle (Alatou et Sahli 2019)	66
Figure IV.19 : Concentration du plomb dans les feuilles et l'écorce des arbres étudiés collectés des zones urbaines et de contrôle (Alatou et Sahli 2019)	67
Figure IV.20 : Concentration du zinc dans les feuilles et l'écorce des arbres étudiés collectés des zones urbaines et de contrôle (Alatou et Sahli 2019)	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Composition de l'atmosphère	3
Tableau I.2 : Nature et origine des polluants	8
Tableau I.3 : principaux polluants de l'air, source et effets	10
Tableau I.4 : Effets des principaux polluants sur la santé.	15
Tableau II.1: Caractéristiques géographiques de station de Constantine	25
Tableau II.2: Précipitations mensuelles enregistrées à la station de Constantine pendant la période (1988-2018).	26
Tableau II.3: Répartition saisonnière des précipitations pour la station de constantine (1988_2018).	27
Tableau II.4: Moyennes mensuelles des températures en station de Constantine (1988_2018).	28
Tableau II.5:Humidité mensuelle de la station de Constantine (1988_2018).	29
Tableau II.6:Quotient pluviométrique pour la station de Constantine (1988_2018)	32
Tableau II.7: Industrie dans la zone d'étude (ABH-CSM)	33
Tableau II.8 : L'irrigation dans la zone d'étude (ABH-CSM)	33
Tableau II.9 : Répartition des formations forestières dans la zone d'étude	34
Tableau III.1 : Localisation et caractéristique des points d'échantillonnage	37
Tableau IV.1 Concentration des métaux lourds dans les différentes parties des espèces végétales (Alatou et Sahli 2019)	64

LISTE DES PHOTOS

Photo III.1 : Fruits d' <i>Acacia retinoides</i> (mars ,2020)	45
photo III.2 : Fleurs de <i>Nerium oleander</i> (mars ,2020)	45

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424
--

Annexe 2 : Décret exécutif n° 06-02 du 7 Dhou El Hidja 1426

Annexe 3 : courbes d'étalonnage

LISTE DES ACRONYMES

As : Arsenic

Cd : Cadmium

CFC : Chloro-fluoro-carbones

CH a: Chlorophylle a

CH b: Chlorophylle b

CH₄ : méthane

Chl T: Chlorophylle Total

CO₂ : Dioxyde de carbone

COV : Composés organiques volatils

Cr : Chrome

Cu : Cuivre

DO: Densité Optique

E : Ecorces

EDTA : Acide Tétramine Ethylène

FL : Feuilles lavées

FNL : Feuilles Non lavées

H : Humidité

HAP : Hydrocarbures polycycliques aromatiques

HCB : Hexa -chlorobenzène

HCFC : Hydro- chlorofluorocarbures

Hg : Mercure

M : température moyenne mensuelle maximale

m : température moyenne mensuelle minimale

MF : Matière Fraiche

N₂O : Protoxyde d'azote

NH₃ : ammoniac

Ni : Nickel

NO : Monoxyde d'azote

NO₂ : Dioxyde d'azote

NO_x : Oxydes d'azote

O.N.M : Office National Météorologique.

O₃ : Ozone

OMM : Organisation météorologique Mondiale

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P : Précipitation

Pb : Plomb

PCB : Polychlorobiphényles

PM : Particulate Matter

ppm : partie par million

PTS : Particules totales en suspension

RN : Route Nationale

S : Station

Se : Sélénium

SF : Surface Foliaire

SO₂ : Dioxyde de soufre

SO₂ : Dioxyde de soufre

SO_x : Oxydes de soufre

T : Température

V : Volume solution extraite.

W : Poids de matière fraîche de l'échantillon.

Zn : Zinc

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1.Introduction.....	3
I.2. Atmosphère.....	3
I.3. Composition de l’atmosphère.....	3
I.4. Structure verticale de l’atmosphère.....	3
I.4.1.Troposphère.....	3
I.4.2. Stratosphère.....	4
I.4.3. Mésosphère.....	4
I.4.4. Thermosphère.....	4
I.5. Définition de la pollution.....	4
I.6. Définition de Pollution atmosphérique.....	4
I.7. Principaux polluants atmosphériques.....	5
I.7.1. Polluants primaires.....	5
I.7.1.1. Monoxyde de carbone (CO).....	5
I.7.1.2. Dioxyde de soufre (SO ₂).....	5
I.7.1.3. Oxydes d’azote (NO _x).....	6
I.7.1.3. Composés organiques volatils (COV).....	6
I.7.1.4. Métaux lourds.....	6
a) Arsenic (As).....	6
b) Plomb (Pb).....	6
c) Cadmium (Cd).....	6
d) Nickel (Ni).....	7
e) Mercure (Hg).....	7
I.7.1.5. Particules (PM).....	7
I.7.1.6. Polluants organiques persistants POP.....	7
I.7.2. Polluants secondaires.....	7
I.7.2.1. Ozone (O ₃).....	8
I.8. Sources de la pollution atmosphérique.....	8
I.8.1.Emissions naturelles.....	8
I.8.2.Emissions d’origine agricole.....	9

I.8.3.Emissions industrielles.....	9
I.8.4 .Emissions domestiques.....	9
I .8.5.Emissions dues aux transports.....	9
I.9.Mécanismes de la pollution atmosphérique.....	10
I.9.1.Emissions.....	10
I.9.2.Transport et la dispersion.....	10
I.9.3.Transformations chimiques.....	11
I.10.Influence des facteurs météorologiques et topographiques sur la pollution atmosphérique.....	11
I.10.1.Facteurs météorologiques.....	11
1.10.1.1. Vent.....	11
1.10.1.2. Température.....	11
1.10.1.3. Précipitations.....	11
1.10.1.4. Pression.....	11
1.10.1.5. Lumière.....	12
1.10.2. Facteurs topographiques.....	12
1.10.2.1. Vallées.....	12
1.10.2.2. Versants.....	12
1.10.2. 3.Cultures et prairies.....	12
I.11. Impacts de la pollution atmosphérique.....	12
I.11.1. Impact sur l'environnement.....	12
I.11.1.1. Pluies acides.....	13
I.11.1.2. Eutrophisation.....	13
I.11.1.3. Effet de serre.....	13
I.11.1.4. Destruction de la couche d'ozone.....	13
I .11.2.Impact sur le cadre bâti.....	14
I .11.3.Impact sur la santé.....	14
I .11.3.1.Système respiratoire.....	14
I .11.3.2.Système cardiovasculaire.....	14
I .11.3. 3. Système nerveux.....	14
I .11.3. 4. Système digestif.....	14
I.11.4.Impact sur les végétaux.....	16
I.12.Biosurveillance de la pollution atmosphérique.....	16

I.12.1.Définitions et concepts.....	16
I.12.1.1. Bio –indication.....	16
I.12.1.2. Biomarqueur.....	17
I.12.1.3. bio-intégrateur.....	17
I.12.1.4. bio-accumulateur.....	17
I.13. Cadre Juridique de lutte contre la pollution atmosphérique.....	19
I.13.1. Au niveau national.....	19
I.13.1.1. loi 03-10 du 19 juillet 2003.....	19
I.13.1.2. Décret exécutif n°06-02 du 07 janvier 2006.....	20
I.13.2. Au niveau international.....	20
I.13.2.1. Protocole de Montréal.....	20
I.13.2.2. Protocole de Kyoto.....	20
I.13.2.3. Protocole de Göteborg.....	20
I.14.Conclusion.....	20

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE

II.1.Situation géographique de la région d’étude.....	21
II.2.Géomorphologie.....	22
II.3. Réseaux hydrographique.....	23
II.4. Cadre géologique.....	24
II.5.Climat.....	25
II.5.1.Origine de données climatique.....	25
II.5.2 .Paramètres climatiques.....	25
II.5.2.1.La pluviométrie.....	25
a) Précipitations Moyennes mensuelles.....	26
b) Répartition saisonnière des précipitations.....	26
II.5.2.2.Température.....	27
II.5.2.3.Humidité relative.....	29
II.5.3.Synthèse climatique.....	30
II.5.3.1.Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	30
II.5.3.2.Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger.....	31
II.6. Aperçu socio-économique.....	33
II.7. Répartition des terres.....	34
II.7.1. Répartition des formations végétales.....	34

II.8. Aperçu sur l'autoroute Est-Ouest.....	34
---	----

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

III.1.Echantillonnage.....	36
III. 2. Plan d'échantillonnage.....	36
III.2.1. Stations d'échantillonnage.....	36
III.3. Compagnes et techniques de prélèvement.....	44
III.4. Matériel végétal.....	45
III.4.1. Acacia à quatre saisons.....	45
III.4.1.1. Classification.....	45
III.4.2. Laurier-rose.....	46
III.4.2.1. Description.....	46
III.4.2.2 Classification.....	46
III .5. Paramètres mesurés.....	47
III .5.1. Dosage de la chlorophylle.....	47
III .5.2. Dosage de la proline.....	47
III.5.3. Dosage des sucres solubles.....	48
III.5.4. Technique d'extraction des particules en suspensions.....	48

CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSION

IV.1. Chlorophylle.....	50
IV.1.1. Chlorophylle total.....	50
IV.1.2. Chlorophylle (a).....	52
IV.1.3. Chlorophylle (b).....	53
IV.1.4. Le rapport Chl (a)/Chl (b).....	54
IV.2. La proline.....	56
IV.3. Sucres solubles.....	57
IV.4. Quantité de Particules en suspensions (poussière).....	60
IV.5. Métaux lourds.....	62
IV.5.1.Cadmium.....	63
IV.5.2.Cuivre.....	65
IV.5.3.Plomb.....	66
IV.5.4.Zinc.....	67

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	70
---	-----------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	72
---	-----------

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Actuellement, de nombreux problèmes environnementaux se sont aggravés à cause des activités humaines qui ont une mauvaise influence sur l'état de la planète.

La pollution atmosphérique est le principal risque environnemental qui altère la qualité du cadre de vie et contribue aux phénomènes plus néfastes pour les êtres vivants et le milieu dans lequel ils vivent.

Le transport routier est le secteur le plus émetteur des polluants atmosphériques, les concentrations de ces derniers sont responsables de la pollution atmosphériques qui devient de plus en plus très complexe.

En Algérie et depuis plusieurs années le trafic routier ne cesse que développer surtout dans les villes. Un grand nombre de projets ont été réalisés représentés par l'installation des grandes autoroutes pour satisfaire les besoins de mobilités des personnes et des biens.

La biosurveillance est un outil opérationnel visant à détecter les polluants atmosphériques et indiquer leurs impacts sur les organismes vivants. Elle permet donc de contrôler les fluctuations environnementales. De nombreux végétaux peuvent être utilisés pour la biosurveillance de la qualité de l'air à cause de leurs grandes sensibilités et leurs contacts permanents avec l'air pollué.

Nous tentons à travers cette étude d'évaluer l'effet de la pollution atmosphérique le long de l'autoroute Est-Ouest (wilaya de constantine) à l'aide des espèces végétales représentatives concernant l'Acacia des quatre saisons (*Acacia retinoides*) et le laurier rose (*Nerium oleander*).

L'objectif de notre étude vise à évaluer la pollution atmosphérique à travers :

- La mesure des variations des paramètres physiologiques chez l'Acacia des quatre saisons et le laurier rose (chlorophylle, proline et sucres solubles).
- La quantification des matières en suspension accumulées sur les feuilles des espèces étudiées.

Ce travail est structuré comme suit :

- **Le chapitre I** repose sur une "*synthèse bibliographique*" qui expose de façon générale les connaissances de base sur la pollution atmosphérique et détaille certains éléments liés à ce sujet.
- **Le deuxième Chapitre, "*présentation de la zone d'étude*"**, qui donne la localisation géographique de la zone d'étude et décrit ses caractéristiques (hydrologiques, géomorphologiques, climatique ...etc.).
- **Le troisième Chapitre, "*matériel et méthodes*"**, présente le plan d'échantillonnage suivi, les stations choisies et les techniques de prélèvement des espèces étudiées. Ainsi que les méthodes utilisées pour la mesure des paramètres physiologiques et les particules en suspension des végétaux.
- **Le quatrième chapitre, "*résultats et discussion*"**, consiste à l'analyse des résultats obtenus au cours de ce travail et leurs discussions avec une synthèse des paramètres réalisés par autre étude.
- Enfin une synthèse sous forme de **Conclusions** qui résume notre travail et des perspectives envisagées pour la poursuite de cette étude.

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction

L'un des problèmes majeurs de notre environnement est La pollution atmosphérique. Pour étudier ce phénomène globalement nous exposons à travers ce chapitre des éléments concernant la pollution atmosphérique. Nous commençons par la clarification des notions, la description des principaux polluants, les effets... etc. Donc il sert d'une étude théorique sur la pollution atmosphérique.

I.2. Atmosphère

« L'atmosphère est une couche la plus extérieure de la planète, de nature gazeuse, constituant donc la partie la plus extérieure de l'écosphère. » (Ramade, 2000).

I.3. Composition de l'atmosphère

L'atmosphère est une enveloppe gazeuse composée de plusieurs gaz en proportions variables (Tableau I.1).

Tableau I.1 : Composition de l'atmosphère

Composition de l'atmosphère		
constituants	Pourcentage en volume	Pourcentage en masse
Azote	78,01	75,53
Oxygène	20,95	23 ,14
Argon	0,93	1,28
Gaz carbonique (CO ₂)	0,036	0,051
Néon	1,8. 10 ⁻³	1,25. 10 ⁻³
Hélium	5,24. 10 ⁻⁴	5,24. 10 ⁻⁴
Méthane	1,7. 10 ⁻⁴	9,41. 10 ⁻⁴
Krypton	1,14. 10 ⁻⁴	3,3. 10 ⁻⁴
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	5. 10 ⁻⁵	7,6. 10 ⁻⁵

Source : (Ramade, 2000).

I.4. Structure verticale de l'atmosphère

Selon Mallet (2005) l'atmosphère peut diviser en quatre couches principales à partir du profil vertical de température (figure I.1).

I.4.1.Troposphère

La troposphère est la couche inférieure de l'atmosphère, elle est caractérisée par la diminution de température avec l'altitude.

I.4.2. Stratosphère

Correspond à la deuxième couche de l'atmosphère, elle est caractérisée par l'augmentation de température avec l'altitude. Elle s'étend jusqu'à 50 Km d'altitude.

I.4.3. Mésosphère

La mésosphère est située entre la stratosphère et la thermosphère. Elle est comprise en moyenne entre 50 et 80 Km d'altitude.

I.4.4. Thermosphère

La thermosphère Est l'une des couches supérieures de l'atmosphère. Elle s'étend jusqu'à environ 500 km d'altitude.

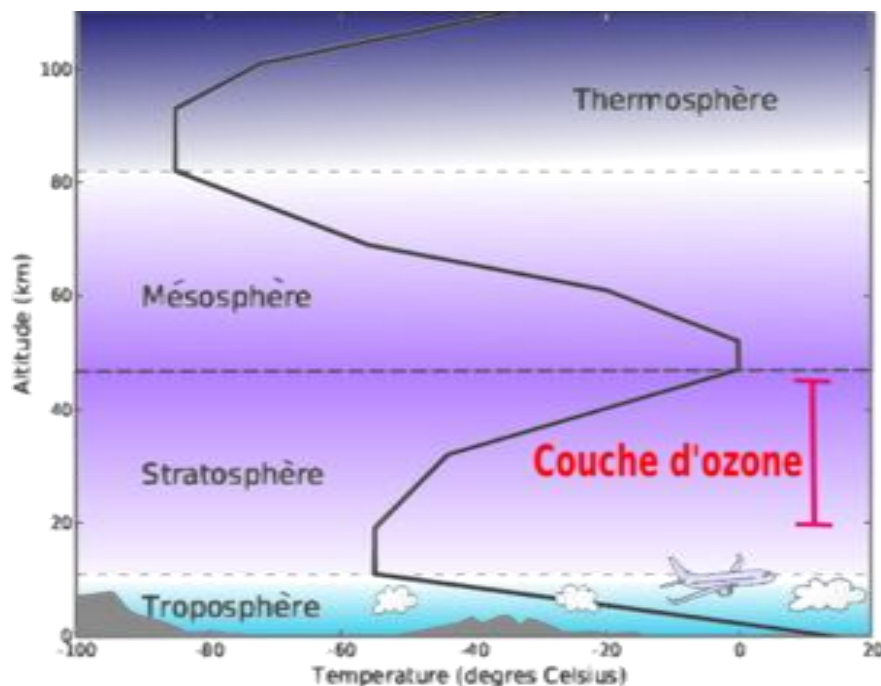


Figure I.1 : structure de l'atmosphère terrestre (Hache ,2014)

I .5. Définition de la pollution

« La pollution est toute modification anthropique d'un écosystème se traduisant par un changement de concentration des constituants chimiques naturels, ou résultant de l'introduction dans la biosphère de substances chimiques artificielles, d'une perturbation du flux de l'énergie, de l'intensité des rayonnements, de la circulation de la matière ou encore de l'introduction d'espèces exotiques dans une biocénose naturelle.» (Ramade, 2005).

1.6. Définition de Pollution atmosphérique

Le terme pollution atmosphérique a connu plusieurs définitions.

D'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2000) on parle de pollution atmosphérique « lorsqu' une ou plusieurs substances ou des mélanges de substances polluantes sont présents dans l'atmosphère dans des quantités ou sur une période telles qu'ils sont dangereux pour les hommes, les animaux, les plantes ou les biens, qu'elles contribuent à leur mise en péril ou nuisent à l'activité ou au bien-être des personnes ».

En Algérie la pollution atmosphérique est défini comme suit : « L'introduction de toute substance dans l'air ou l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptible de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie .» (Journal Officiel Algérien, 2003).

I.7. Principaux polluants atmosphériques

Les polluants de l'air « sont des substances gazeuses ou particulaires introduites par les activités humaines dans l'atmosphère ou naturellement présentes dans cette dernière mais dont la concentration est accrue par suite de diverses sources technologiques ». (Ramade, 2000), (tableau I.2).

I.7.1. Polluants primaires

Les polluants primaires sont émis directement dans l'air par les activités humaines sans subir des changements (polluants anthropogéniques) (Fontana, 2019).

I.7.1.1. Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone est un gaz inodore et incolore résulte de la combustion incomplète de matières organiques. Les sources principales de monoxyde de carbone sont les véhicules automobiles, les procédés industriels et la combustion de la biomasse. Il prend la place de l'oxygène dans l'hémoglobine, ce qui réduit la capacité des globules rouges à transporter et libérer de l'oxygène dans le corps (Hache, 2014).

I.7.1.2. Dioxyde de soufre (SO₂)

Naturellement les volcans sont la principale source de SO₂, il est aussi émis par les activités anthropiques comme les industries métallurgiques et les raffineries de pétrole. Le SO₂ est un gaz toxique pour tous les êtres vivants, aide à la création des particules (aérosols sulfuriques) qui empêchent les rayons solaires d'atteindre la terre, ainsi il contribue au refroidissant de la planète (Al Barakeh, 2012).

I.7.1.3. Oxydes d'azote (NO_x)

Les Oxydes d'azote sont généralement NO et NO₂. NO est formé par la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air au contact de surfaces à haute température. Il peut être produit directement, à plus basse température, par la combustion des combustibles fossiles et de la biomasse. Il se transforme ensuite en NO₂ par oxydation. Les oxydes d'azote contribuent également à la formation des pluies acides et à l'eutrophisation des cours d'eau. Les principales sources en sont les moteurs thermiques de toute sorte, ceux des moteurs diesel en particulier, et les installations de combustion à haute température, centrales électriques à combustibles fossiles ou installations industrielles. Ainsi que l'agriculture et le chauffage (fuel domestique, bois). (Durand, 2014).

I.7.1.4. Composés organiques volatils (COV)

Les sources émettrices de tels COV sont notamment (Charpin *et al.*, 2016) :

Origine naturelle: les plantes et surtout les forêts de feuillus et de conifères.

Origine anthropique: liée à la combustion, évaporation de carburants par le transport routier, et l'utilisation des produits courants contenant des solvants comme les peintures.

I.7.1.5. Métaux lourds

Les métaux lourds sont les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ils ont connu par la notion de métaux traces ou d'éléments traces métalliques. Les principaux métaux lourds sont : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn) (Lacour, 2001).

Selon (Charpin *et al.*, 2016). Les métaux les plus préoccupants sont :

a) Arsenic (As)

La source principale d'arsenic est les combustibles fossiles tels les fiouls lourds ou le charbon. Certains procédés industriels sont à l'origine d'émissions d'arsenic notamment dans la production de verre et de métaux.

b) Plomb (Pb)

Le plomb existe dans la combustion de combustibles fossiles comme le charbon, les fiouls, les carburants spéciaux pour l'aviation et dans l'incinération de déchets dans les usines d'incinération des ordures ménagères.

c) Cadmium (Cd)

Le cadmium est lié essentiellement aux activités métallurgiques des métaux, le processus de traitement des déchets, et la combustion de charbons, du fioul lourd et de la biomasse.

d) Nickel (Ni)

Les émissions de nickel (Ni) proviennent principalement de la combustion de fioul lourd et quelques procédés industriels.

e) Mercure (Hg)

Les sources humaines de mercure sont principalement liées aux activités de combustion du charbon, brûlage des déchets verts, incinération de déchets, fabrication d'agrégats (fours à ciment notamment). Parfois il est utilisé comme catalyseur dans les procédés industriels pour produire du chlore et de la soude caustique.

I.7.1.6. Particules (PM)

Selon Lacour (2001) les particules ou aérosols désignent la fraction des composants (liquides ou solides) en suspension dans un milieu gazeux. Ils sont classés en fonction de leur granulométrie :

Particules en suspension (TSP) : masse totale de particules.

PM10 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 10 μm ;

PM2.5 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 2.5 μm ;

PM1.0 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 1 μm ;

Ultrafines : particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 0.1 μm ;

Nanoparticules : particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 0.05 ou 0.03 μm .

I.7.1.7. Polluants organiques persistants POP

Les polluants organiques persistants sont principalement les dioxines et les furanes (PCDD-F), certains hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB) et l'hexa-chlorobenzène (HCB). Ils sont extrêmement stables et ont une longue durée de vie dans l'environnement. Les POP sont toxiques à une température appropriée Lors de la combustion des combustibles fossiles et d'autres substances organiques carbonées, bois, biomasse et déchets ménagers. (Durand, 2014).

I.7.2. Polluants secondaires

Les polluants secondaires se forment dans l'atmosphère lors de réactions chimiques complexe entre certaines substances, en particulier des polluants primaires. (Fontana, 2019). Les particules secondaires sont issues de mécanismes d'oxydation, nucléation, condensation, coagulation transformant dans l'atmosphère des composés gazeux en particules liquides ou solides (Charpin *et al.*, 2016).

I.7.2.1. Ozone (O₃)

L'ozone (O₃) est un polluant de la famille des photo-oxydants qui forment de réactions photochimiques entre des polluants primaires précurseurs, en particulier les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (COV). Ces réactions mettent en jeu des mécanismes de photolyse de molécules sous l'effet du rayonnement solaire comme le NO₂ photolyse en NO en libérant un atome d'oxygène (se recombinaison avec le dioxygène de l'air pour former O₃. (Charpin *et al.*, 2016).

Tableau I.2 : Nature et origine des polluants

Nature et origine des principales substances pollutant l'atmosphère		
Types de polluants atmosphériques	Nature du polluant	Source d'émission
Gazeux	CO ₂	Volcanisme, respiration des êtres vivants, combustibles fossiles, feux de végétation, déforestation.
	CO (oxyde de carbone)	Moteurs à explosion, combustions incomplètes, feux de végétation, bactéries, océan.
	Hydrocarbures	Moteurs à explosion, foyers au fuel ou au charbon industries chimiques
	Composés organiques	Incinération d'ordures, combustions diverses, volcanisme.
	SO ₂ et d'autres dérivés gazeux du soufre	Volcanisme, embruns, marins, bactéries, combustions
	NO _x et d'autres dérivés gazeux de l'azote	Combustions, moteurs à explosion, industrie nucléaire
	Radionucléides	Essais atmosphériques d'armes atomiques
Particulaires	Métaux composés minéraux	Volcanisme-météorites, érosion éolienne-embruns marins, combustions, moteurs à explosion, métallurgie et diverses industries.
	Carbonées (particules)	Incendies de végétation, combustion de charbon et fuel, moteurs diesel.
	Composés organiques naturels et de synthèse	Incendies de végétation, industrie chimique Combustion de charbon et fuel, moteurs diesel, incinérateurs d'ordures, solvants, pesticides.
	Radionucléides	Industrie nucléaire, essais atmosphériques d'armes atomiques.

Source : (Ramade, 2000)

I.8. Sources de la pollution atmosphérique

Selon Allag (2010) Les émissions des polluants que l'on retrouve dans l'atmosphère peuvent être d'origine anthropique ou d'origine naturelle sont (tableau I.3):

I.8.1. Emissions naturelles

Le dioxyde de soufre (SO₂) et le dioxyde d'azote (NO₂) sont les principaux polluants d'origine naturelle. Ils proviennent par; les émissions des volcans, les décompositions

organiques, les incendies de forêt, les océans et les émissions par les végétaux (la production des composés toxiques comme le H₂S et CH₄).

I.8.2. Emissions d'origine agricole

Le secteur agricole est responsable d'une partie de la pollution atmosphérique essentiellement par les émissions des plusieurs polluants : l'ammoniac, le méthane, le protoxyde d'azote, le monoxyde de carbone et les pesticides. Ils sont liés à la décomposition des matières organiques, aux animaux d'élevage et à l'utilisation massive d'engrais et de pesticides.

I.8.3. Emissions industrielles

Les émissions industrielles liées aux processus de traitement ou de fabrication employés. En particulier, le monoxyde et de dioxyde de carbone, de dioxyde de soufre, d'oxyde d'azote, de poussières, de composés organiques volatils (COV).

I.8.4. Emissions domestiques

Au niveau individuel ou tertiaire (chauffage des logements ou des bureaux), la combustion de carburants fossiles (charbon, fioul lourd, etc.) participe aux émissions des polluants atmosphériques;Le dioxyde de carbone (CO₂) produit inévitable de la combustion de matières organiques et dont la concentration accrue dans l'atmosphère contribue à l'effet de serre, le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azotes (NO_x), les poussières, les métaux lourds, etc.

I.8.5. Emissions dues aux transports

Les émissions générées par les transports sont la première cause de pollution atmosphérique surtout dans les villes en raison de la densité du trafic. La contribution des transports à la pollution ne cesse de s'accroître du fait de l'augmentation du trafic directement liée à l'activité économique.

Tableau I.3 : principaux polluants de l'air, source et effets

Polluants	Sources Naturelles	Sources anthropiques	Effet sur :
Gaz agressifs (SO ₂) Dioxyde de soufre (NO _x)Oxydes d'azote CO (monoxyde de carbone) COV(composé organique volatils) Oxydant, O ₃ (ozone) NH ₃ (ammoniac)	Volcans, biologique Orages, incendies Incendies. Incendies terpène. Smog naturel biologique	Combustion, métallurgie Industries combustions, automobile. combustions, automobile. Industries Smog urbain, élevage	Muqueuses, plantes, matériaux. . Acidité, smog Santé Santé, smog Santé, plantes. S'oxyde en NO _x
Substances malodorantes	Putréfaction	Source Industrielle, alimentaire, papier, plastics	Gène olfactive
Gaz à effet climatique CO ₂ (dioxyde de carbone) CH ₄ (méthane) N ₂ O (protoxyde d'azote) O ₃ (ozone) CFC (chloro-fluoro-carbones)	Volcans Marais Herbivores Microorganisme Smog naturel orages /	Combustion Rizières, élevage Engrais, sols Smog urbain Solvants réfrigération	Forçage de l'effet de serre
Gaz destructeurs d'ozone	CH ₃ CL, H ₂ O, NO _x	Cfr, CFC	Réduction ozone stratosphérique

Source :(Ronneau, 2013)

I.9. Mécanismes de la pollution atmosphérique

Selon Rahal (2015) L'existence des polluants dans l'atmosphère est rythmée par trois étapes : les émissions, le transport et la dispersion la transformation chimique.

I.9.1. Emissions

Les émissions des polluants ont une forte influence sur la qualité de l'air .Les polluants primaires, dont les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO₂), le monoxyde de carbone (CO), les particules en suspension (PM) et certains composés organiques volatils, sont directement émis dans l'atmosphère. Ils proviennent aussi de sources fixes (incinération des déchets, chauffages urbains, activités industrielles, domestiques ou agricoles) que des sources mobiles, surtout les automobiles.

I.9.2. Transport et la dispersion

Les polluants atmosphériques peuvent déplacer à des longues distances de leurs sources.

Le phénomène de dispersion dépend de plusieurs paramètres dont les conditions météorologiques et topographiques (altitude, relief cours d'eau, vent ...etc.). Il détermine l'accumulation d'un polluant ou sa dilution dans l'atmosphère.

Il existe deux types de dispersion :

- Dispersion verticale liée au gradient thermique verticale ;
- Dispersion horizontale liée à la vitesse et direction du vent.

I.9.3. Transformations chimiques

Au cours du transport, les polluants se transforment par réactions chimiques complexes pour former d'autres polluants (interaction avec d'autres substances ou radiation et éventuelles transformations).

I.10. Influence des facteurs météorologiques et topographiques sur la pollution atmosphérique

I.10.1. Facteurs météorologiques

La météorologie joue un rôle important dans le phénomène de dispersion des polluants. On distingue principalement (Zenta, 2008) :

1.10.1.1. Vent

Est l'un des paramètres météorologiques les plus importants pour le transport et la dispersion des polluants. Il intervient à toutes les échelles tant par sa direction que par sa vitesse. L'influence du vent sur la pollution atmosphérique est très variable, lorsque le vent est fort, les niveaux de pollution seront bas. En revanche, un vent de faible vitesse favorise l'accumulation locale des polluants.

1.10.1.2. Température

La température contribue à la pollution atmosphérique car elle provoque des réactions et transformations des polluants atmosphériques.

1.10.1.3. Précipitations

La pollution est un facteur de nettoyage de l'atmosphère mais en conditions atmosphériques instables devient nuisible. Elle favorise la dispersion de pollution atmosphérique et parfois accélérer la dissolution des certains polluants.

1.10.1.4. Pression

Les situations dépressionnaires correspondent généralement une turbulence de l'air assez forte et donc de bonnes conditions de dispersion.

En revanche, des situations anticycloniques où la stabilité de l'air ne permet pas la dispersion des polluants entraînent des épisodes de pollution.

1.10.1.5. Lumière

La lumière du soleil est un paramètre fondamental de la production photochimique des oxydants qui forment le smog.

1.10.2. Facteurs topographiques

La topographie est un facteur essentiel dans la dispersion des émissions polluantes (Aouissi, 2011) :

1.10.2.1. Vallées

La présence d'une vallée est généralement défavorable à la dispersion des polluants. Les masses d'air ne se déplacent pas dans le même sens, le matin et la nuit. Le matin, l'air s'échauffe sur les pentes et crée un courant, qui remonte la vallée. Les polluants se dispersent rapidement, mais la nuit, le phénomène s'inverse: l'air froid s'écoule le long de pentes et s'accumule au fond de la vallée, tout en descendant la pollution évacuée dans la journée, est alors ramenée dans la vallée, la nuit.

1.10.2.2. Versants

Les versants sont considérés comme des milieux récepteurs de polluants (obstacles naturels), car ils sont redressés plus les dépôts de polluants sont importants sur la partie exposée aux vents (brise) et faible sur le côté opposé.

1.10.2.3. Cultures et prairies

Ce sont des obstacles qui retiennent les impuretés par absorption et réaction avec les feuilles.

I.11. Impacts de la pollution atmosphérique

I.11.1. Impact sur l'environnement

La pollution de l'air constitue un problème environnemental. Elle peut contribuer aux phénomènes de pluies acides, l'effet de serre et l'eutrophisation, ainsi que le trou de la couche d'ozone. (Rebouh et Ribouh, 2018).

I.11.1.1. Pluies acides

Les pluies acides résultent essentiellement par le rejet de dioxyde de soufre et de dioxydes d'azote dans l'air. L'oxydation de ces polluants dans l'air forme l'acide sulfurique et l'acide nitrique, ou des sels. On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émission, (pollution transfrontière à longue distance). Ceci concourt à des dépôts acides et augmente l'acidification des pluies par rapport à celles résultant de la seule présence de gaz carbonique dans l'air (naturellement le pH d'une pluie est toujours acide, de l'ordre de 5,6). On ajoute d'autres polluants peuvent contribuer aux pluies acides, comme l'acide chlorhydrique émis par incinération de certains déchets plastiques, ou l'ammoniac des activités agricoles (Lacour, 2001).

I.11.1.2. Eutrophisation

L'eutrophisation est due à un apport excessif en nutriments et matières organiques biodégradables issus de l'activité humaine. Elle s'observe surtout dans les milieux aquatiques dont les eaux sont peu renouvelées. Stimulées par un rapport substantiel en certains nutriments dont principalement le phosphore et l'azote, le phytoplancton et certaines plantes aquatiques croissent et se multiplient de manière excessive, ce qui conduit, lorsqu'elles se décomposent, à une augmentation de la charge naturelle de l'écosystème en matières organiques biodégradables. Les bactéries, qui dégradent cette matière organique, prolifèrent à leur tour, en appauvrissant de plus en plus l'oxygène de l'eau (Ramade, 2002, in Belhadj, 2016).

I.11.1.3. Effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel provoquant l'augmentation de la température à la surface de la planète sous l'effet des activités humaines. Les gaz à effet de serre sont naturellement présentés dans l'atmosphère. Ils sont principalement le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O) qui assurent le maintien de la température moyenne de surface et d'un climat auxquels l'homme et les écosystèmes sont adaptés. Les émissions des gaz à effet de serre dues aux activités humaines augmentent la capacité de captation de l'énergie par la troposphère et entraînant un renforcement de l'effet de serre et modification du climat. (Abdeldjouad, 2014).

I.11.1.4. Destruction de la couche d'ozone

La destruction de la couche d'ozone résulte quand l'équilibre naturel entre la production et la destruction de l'ozone dans la stratosphère est incliné en faveur de la

destruction. Bien que les phénomènes naturels puissent causer la perte provisoire de l'ozone, le chlore et le brome libérés des composés synthétiques tels que les CFC sont considérés comme cause principale de cet amincissement. La dégradation de la couche d'ozone est provoquée par d'autres substances comme le tétrachlorure de carbone, le méthyle chloroforme, les halons (produits extincteurs), le bromure de méthyle et les HCFC (potentiels d'amoinissement de la couche très inférieur aux CFC) (Lacour ,2001).

I .11.2. Impact sur le cadre bâti

La pollution de l'air a de nombreux effets sur les matériaux, Dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles (corrosion, noircissement, altérations diverses. Elle met en danger notre patrimoine culturel et occasionne les travaux de ravalement de façades ou de restauration des monuments. (Rebouh et Ribouh ,2018).

I .11.3. Impact sur la santé

L'exposition aux polluants atmosphériques peut à court et à long terme affecte les différents organes et systèmes du Corps. (Kampa et Castanas ,2008), (tableau I .4) :

I .11.3.1. Système respiratoire

La forte concentration des polluants atmosphérique ou l'exposition à long terme à des concentrations faibles peuvent affecter les voies respiratoires comme l'irritation du nez, de la gorge et l'asthme .De plus, certains polluants provoquent des inflammations pulmonaires, des infections respiratoires et même du cancer du poumon.

I .11.3.2. Système cardiovasculaire

Parmi les maladies cardio-vasculaires on trouve : infarctus du myocarde, angine de poitrine, troubles du rythme cardiaque et la tachycardie.

I .11.3. 3. Système nerveux

Le système nerveux est principalement affecté par les métaux lourds (plomb, mercure et arsenic) et les dioxines. La neurotoxicité conduisant à des neuropathies, avec des symptômes tels que troubles de la mémoire, troubles du sommeil, colère, fatigue, tremblements de mains, trouble de la vision et ébullition, a été observée après une exposition à l'arsenic, au plomb et au mercure.

I .11.3. 4. Système digestif

Certains polluants induisent des dommages aux cellules hépatiques en augmentant le niveau des enzymes. Ainsi qu'ils influencent l'intestin gastro –intestinal.

Tableau I .4 : Effets des principaux polluants sur la santé.

Les polluants	Leurs effets sur la santé
Dioxyde de soufre (SO ₂)	C'est un gaz irritant. Il provoque une altération de la fonction pulmonaire chez les enfants et une exacerbation des symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire...). Les personnes asthmatiques y sont particulièrement sensibles. Synergie avec les particules
Oxyde d'azote (NO, NO ₂)	C'est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires, entraînant une hyperréactivité bronchique chez les patients asthmatiques et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant. Irritation des bronches chez un public sensible.
Particules en suspension (PM ₁₀)	Les plus grosses particules sont retenues par les voies respiratoires supérieures. Elles sont donc moins nocives pour la santé que les particules plus fines (<10 µm de diamètre) qui pénètrent plus profondément dans l'organisme ; elles irritent alors les voies respiratoires inférieures et altèrent la fonction respiratoire dans l'ensemble. Certaines, selon leur nature, ont également des propriétés muta gènes et cancérigènes.
Monoxyde de carbone (CO)	il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. Le système nerveux central et les organes sensoriels sont les premiers affectés, provoquant des céphalées, vertiges, asthénies ou troubles sensoriels. En cas d'exposition très élevée et prolongée, il peut être mortel ou laisser des séquelles neuropsychiques irréversibles. Vertiges, Maux de tête, Nausées.
Composés organiques volatils(COV) dont benzène	Ces molécules ont des effets très divers selon leur famille. De la simple gêne olfactive (odeurs), certains provoquent une irritation (aldéhydes), une diminution de la capacité respiratoire. D'autres, comme le benzène, provoquent des effets mutagènes et cancérigènes. Diminution de la fonction respiratoire.
Métaux (Pb, As, Ni, Hg, Cd...)	Ces différents éléments s'accumulent dans l'organisme, ce qui entraîne un risque de toxicité à long terme impliquant d'éventuelles propriétés cancérigènes. Toxicité par bioaccumulation dans le système nerveux, les poumons, les reins...etc.
Ozone (O ₃)	Ce gaz, très oxydant, pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque de la toux et une altération pulmonaire, surtout chez les enfants et les asthmatiques, ainsi que des irritations oculaires. Irritation des muqueuses (gorge, nez, yeux).

Source : (Boussouara ,2010).

I.11.4. Impact sur les végétaux

Les végétaux sont en premier degré face aux pollutions atmosphériques à cause de leurs sensibilités et leurs corrélations avec les facteurs pédologiques et climatiques.

Certains polluants atmosphériques causent des perturbations du métabolisme et du fonctionnement des êtres vivants.

Les polluants peuvent également influencer les végétaux soit directement à partir du contact avec l'air ou indirectement par les éléments nutritifs et l'eau polluée dans le sol.

Les dégâts foliaires sont les plus spectaculaires. Ils se manifestent principalement l'apparition de tâches ou de nécroses à la surface des feuilles Et entraînent au ralentissement de croissance et réduction du processus de photosynthèse. (Aouissi, 2011).

I.12. Biosurveillance de la pollution atmosphérique

La biosurveillance est définie comme « l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution » (Van Halluwyn, 2011).

I.12.1. Définitions et concepts

I.12.1.1. Bio -indication

La bio-indication a une place déterminante dans le système de surveillance environnementale. L'utilisation des plantes comme bio-indicateurs ou accumulateurs de substances polluantes pour l'environnement est la plus efficace sur les plans économique et écologique .Les réactions des plantes à la pollution atmosphérique permettent d'établir la présence précoce de polluants et leur identification dans l'air sur la base des espèces végétales affectées, déterminer l'effet total de tous les facteurs environnementaux, y compris la pollution de l'air, et utiliser les plantes comme système sensible pour les diagnostics précoces (Kurteva,2008).

Van Halluwyn *et al.*,(2011) Ont défini les différents concepts qui sont attachés à La biosurveillance:

I.12.1.2. Biomarqueur

Le biomarqueur est un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant.

I.12.1.3. Bio-intégrateur

Le bio-intégrateur se situe au niveau populationnel et/ou communautaire. Il est donc important de mesurer les effets au niveau des communautés, de manière à infirmer ou à confirmer les observations faites au niveau infra-individuel et individuel.

I.11.1.4. Bio-accumulateur

Un bio-accumulateur ce n'est pas un indicateur de réaction. Dans ce cas, l'organisme utilisé sert principalement de matrice pour le dosage de différents polluants suite à des mécanismes de transfert et d'accumulation. C'est une méthode qui permet d'étudier l'imprégnation de l'environnement par les polluants et de suivre l'évolution (spatiale et temporelle) de cette imprégnation. Contrairement aux concepts précédents pour lesquels il est indispensable de choisir les espèces « sensibles », en bioaccumulation on aura recours aux organismes les plus résistants possible afin de ne pas perturber les phénomènes d'accumulation.

I.12.2. Biosurveillance par les végétaux

Depuis plusieurs années Les méthodes biologiques de détermination de la qualité de l'air ont été employées avec succès dans plusieurs pays, notamment aux Etats-Unis d'Amérique, en Allemagne, en Belgique et au Brésil. (Koffi *et al.*, 2014).

Koffi *et al.*, (2014) ont utilisé Les caractéristiques des stomates des feuilles de *Ficus benjamina* L. comme bioindicateurs potentiels de la qualité de l'air dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire).

L'objectif de ce travail était d'évaluer le potentiel des stomates de *Ficus benjamina* à être utilisé comme indicateurs de la pollution locale de l'air à partir de la densité, la surface des pores et la résistance des stomates. Après avoir vérifié les caractéristiques des stomates face aux stress environnementaux, leurs résultats montrent que la densité et la résistance des stomates présentent des valeurs plus élevées dans les zones potentiellement polluées qu'en

zones moins polluées. Cependant, la surface des pores des stomates présente des valeurs plus élevées en zones moins polluées qu'en zones polluées. A travers les stomates, ils ont pu vérifier la sensibilité de la plante face au stress environnemental en fonction de la saison. Donc, les caractéristiques des stomates des feuilles de *Ficus benjamina* peuvent être de bons bioindicateurs de la qualité de l'air.

Dron *et al.*, (2016) ont appliqué Une méthode de biosurveillance de la qualité de l'air par les lichens au territoire intercommunal du SAN Ouest-Provence qui abrite la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer (France).

Cette étude a exploité les deux aspects offerts par la biosurveillance lichénique, à savoir le lien entre qualité de l'air et diversité lichénique d'une part et bioaccumulation des contaminants (métaux, HAP, dioxines/furanes) dans les thalles de *Xanthoria parietina*, d'autre part.

Les observations effectuées indiquent une importante influence des émissions anthropiques sur l'accumulation des polluants atmosphériques dans les lichens et l'aptitude de celle-ci à mesurer cet impact.

En Algérie, l'utilisation de bioindicateurs végétales dans la surveillance de la qualité de l'air a fait l'objet de plusieurs travaux scientifiques.

Bebba et Ben Derouiche (2007) ont réalisé une étude concernant la détection de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures à l'aide d'un bio -indicateur lichénique (*Xanthoria parietina*) et des feuilles des végétaux supérieures (*Phoenix dactylifera* et *Casuarina equisetifolia*) dans la région de Hassi Messaoud.

Cette étude confirme que L'utilisation des bio -indicateurs et bio accumulateurs et certains végétaux supérieurs peut fournir des indications très intéressantes quant à la qualité et les caractéristiques du milieu naturel, ils permettent également de mettre en évidence les modifications naturelles où provoquées et évaluer de taux en hydrocarbures totaux dans l'air.

En plus, elle montre que, les hydrocarbures s'accumulent dans toutes les espèces végétales utilisées, mais cette accumulation est plus significative chez les plantes supérieures (*Phoenix dactylifera*, *Casuarina equisetifolia*) que chez les plantes inférieures (*Xanthoria parietina*) cela est expliqué par l'existence d'autre facteur qui intervient dans cette accumulation tel que les paramètres climatiques et la gestion des territoires.

Un travail affecté par Berrayah *et al.*, (2016) consiste à évaluer les concentrations en plomb d'origine routière et d'établir une cartographie de la pollution à l'aide d'une espèce de mousses *Bryum argenteum* et deux espèces de lichens foliacés, *Xanthoria parietina* et *Parmelia sulcata* transplantées dans divers sites du périmètre urbain de la ville de Tlemcen.

Leurs résultats montrent de fortes teneurs en plomb dans les thalles des trois espèces, ce qui traduit un fort taux de pollution au niveau de ville.

Une étude réalisée par Bousiga et Berbar (2018) sur la pollution atmosphérique dans la ville de Bouira visant à caractériser le niveau d'exposition induit par des activités anthropiques par une approche de Bioindication active (*Pétunia hybrida*) passive (diversité lichénique).

La première partie des résultats obtenus concernant le développement général de *Pétunia hybrida* permet de mettre en avant un impact sur les plantes situés à proximité de la source des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) à savoir ceux situés à la station industrielle de l'Usine et ceux situés à la station de Square traversé par l'axe routier. La deuxième partie des résultats obtenus indiquent une atteinte à la biodiversité lichénique lorsqu'on se rapproche de la source des HAP et qui est l'automobile.

I.13. Cadre Juridique de lutte contre la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est un facteur de dégradation de l'environnement, Dans un cadre juridique, des dispositions réglementaires sont prises au niveau national et international relative à la protection de l'environnement et la lutte contre la pollution atmosphérique et les émissions des polluants.

I.13.1. Au niveau national

La législation algérienne a mis des normes juridiques relatives à la qualité de l'air et la protection de l'environnement.

I.13.1.1. loi 03-10 du 19 juillet 2003

La Loi n°03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. (Journal Officiel Algérien, 2003), (Annexe1).

I.13.1.2. Décret exécutif n°06-02 du 07 janvier 2006

Décret exécutif n° 06-02 du 7 Dhou El Hidja 1426 correspondant au 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique. (Journal Officiel Algérien, 2006), (Annexe 2).

I.13.2. Au niveau international**I.13.2.1. Protocole de Montréal**

Le Protocole de Montréal est un accord international signé en 1987 par la Communauté économique européenne sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Les polluants cités sont : chlorofluorocarbures (CFC), halons, tétrachlorure de carbone, trichloroéthane, hydro- chlorofluorocarbures (HCFC), bromure de méthyle. (Foray, 2014).

I.13.2.2. Protocole de Kyoto

Le Protocole de Kyoto (1997) a mis en œuvre l'objectif de réduction des émissions de six gaz à effet de serre: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆ (Voinov Kohler, 2006).

I.13.2.3. Protocole de Göteborg

Protocole Göteborg en 1999 a pour objectif de réduire l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique). (Tuddenham, 2013).

La Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-NU) fixe des objectifs de réduction des émissions de certains polluants.

I.14. Conclusion

En conclusion de ce chapitre, on affirme que la pollution atmosphérique est le résultat des modifications chimiques de l'air sous l'effet des activités humaine surtout le secteur industriel donc elle est mauvaise pour l'environnement et elle a un impact négatif sur tout le monde que ce soit l'Homme, les animaux ou les végétaux.

CHAPITRE II

PRESENTATION DE LA ZONE

D'ETUDE

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.1.Situation géographique de la région d'étude

La zone d'étude est située au Nord-Est de l'Algérie. Elle appartient à la région du Tell Constantinois, correspondant en partie aux monts de Constantine et aux hautes plaines constantinoises. Elle se situe principalement le long de l'autoroute Est-Ouest sur un rayon de plus de 20 Km, entre la latitude $36^{\circ} 17' 47''$ Nord et la longitude $6^{\circ} 35' 28''$ Est.

Cette région appartient administrativement à la wilaya de Constantine, allant du pénétrant de l'autoroute Est-Ouest à Zouaghi Slimane (à l'Ouest) jusqu'au tunnel de Djbel Ouahch à l'Ouest passant par la bifurcation la route nationale N°3 reliant Constantine à Batna.

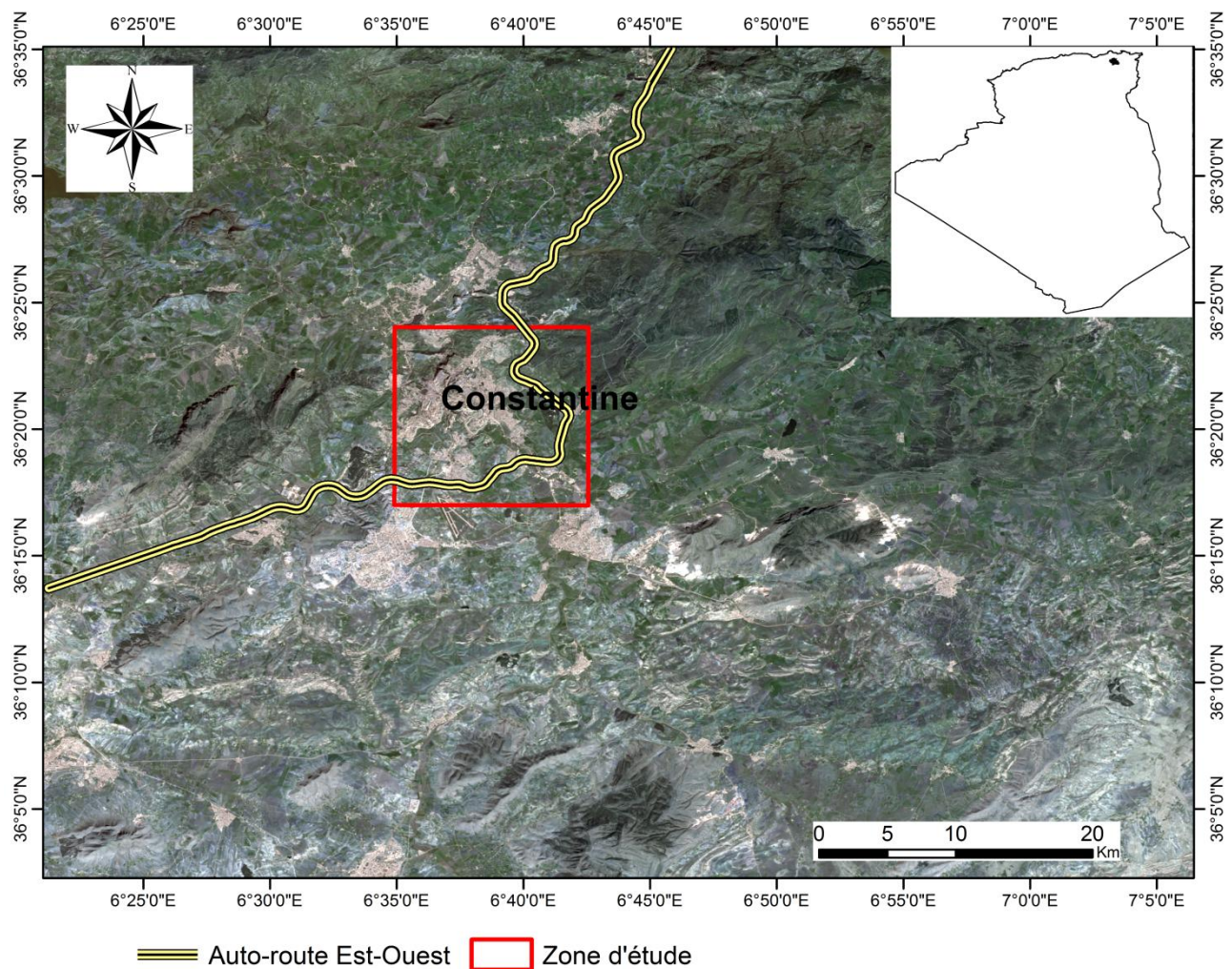


Figure II.1 : Présentation de la zone d'étude

Ce territoire est caractérisé par un climat méditerranéen à précipitation moyenne autour de 500 mm/an, et des températures moyennes qui oscillent entre 25 à 40 °C en été et de 0 à 12 °C en hiver.

La région de Constantine est soumise à une charge de trafic très intense composée de 200000 véhicules de tous types (Alatou et Sahli 2019), causant une pollution chronique qui affecte directement l'environnement de proximité via les eaux de ruissellement et les dépôts atmosphériques secs et humides. Les milieux impactés sont les hydrosystèmes, l'atmosphère, les sols et les végétaux qu'ils supportent.

II.2.Géomorphologie

La géomorphologie de la région de Constantine est très complexe, elle présente plusieurs nappes de charriage (nappe numidiennes, flysch Massylien, nappe telliennes, nappe néritique), caractérisé par des faciès varie d'âge mio-pliocène (remblais, argile, marnes, sable conglomérat, grés), et les dépôts quaternaire (alluvions, travertin etc.).Et d'autre part à un façonnement tectonique. (Derouiche, 2008).

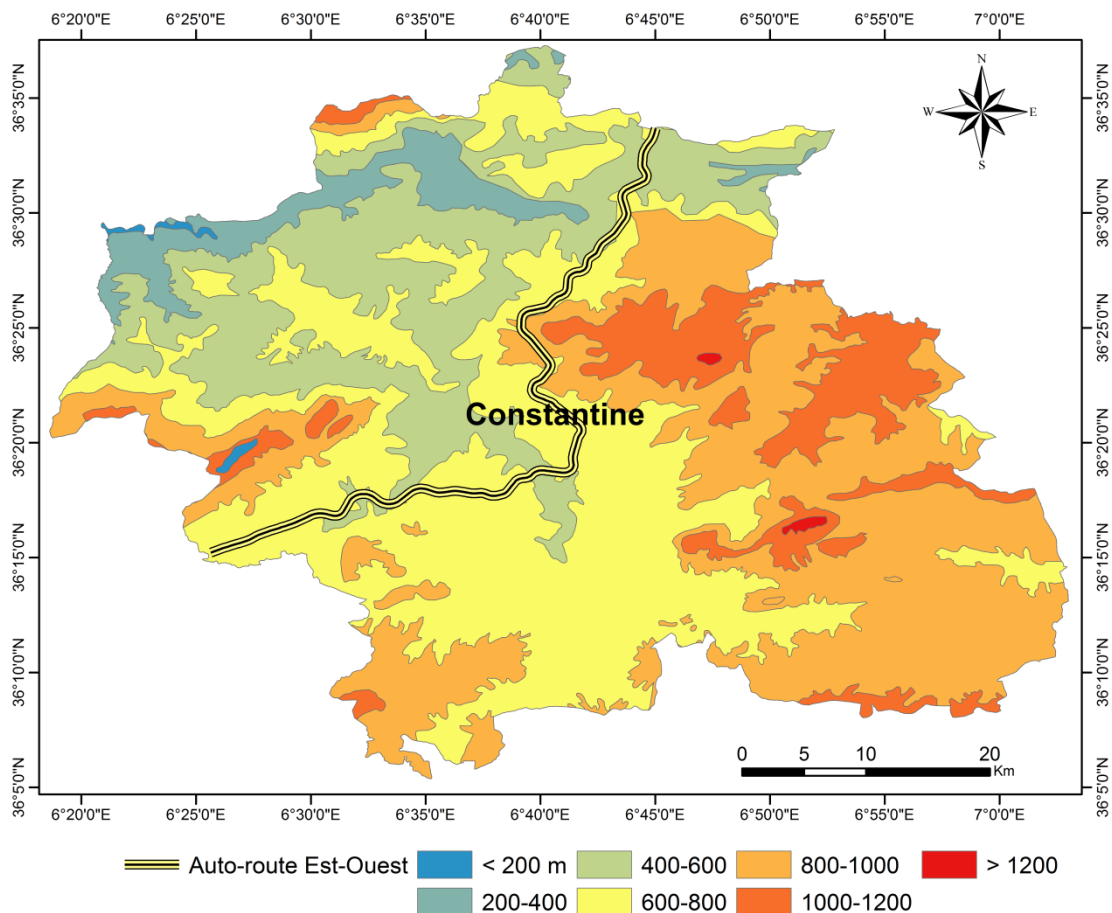


Figure II.2 : Hypsométrie de la wilaya de Constantine (extraite d'un model numérique de terrain d'une résolution à 30 m)

Cette région présente un relief contrasté où se côtoient gorges profondes, plateaux et collines. (BOUEDJA, 2010). Il s'agit d'un ensemble montagneux bien individualisé qui présente une morphologie morcelée avec des vastes plaines recouvertes de dépôts plio-quaternaires. L'altitude moyenne varie entre 500 m et 800 m et dépasse par fois les 1 000m (Boutera M, 2014).

II.3. Réseaux hydrographique

La région de Constantine est caractérisée par un réseau hydrographique relativement dense, dont la ville de Constantine elle-même est le point de confluence de deux principaux cours d'eau. Oued Bou Merzoug (de direction N-S en amont puis devient NW-SE en aval) et Oued Rhumel (sa direction varie le long de son parcours) et traverse les gorges de Constantine. (BOULAOUIDAT, 2014).

Parmi les affluents des deux oueds, on trouve Oueds Athmènia, Seguin, Ziad et Smendou qui convergent vers Oued Rhumel, et Oueds El Klab, Melah, Berda et Oued Hamimine qui affluent Oued Boumerzoug. (ACHOUR ,2017), (figure II.3).

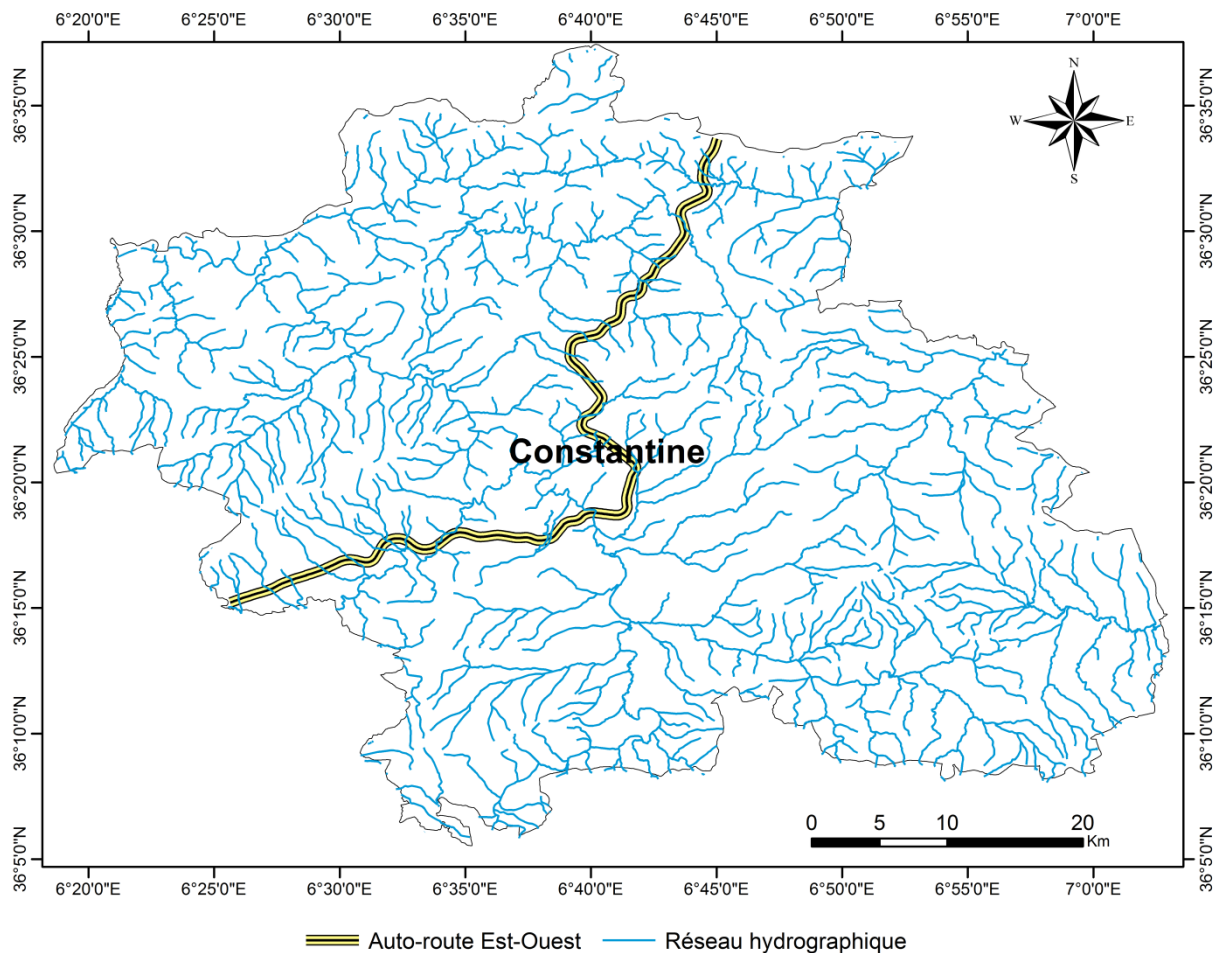


Figure II.3 : Réseau hydrographique de la wilaya de Constantine (extrait d'un model numérique de terrain d'une résolution à 30 m)

II.4. Cadre géologique

Du point de vue géologie régional, notre zone d'étude fait partie d'un grand ensemble appelé "avant payé septentrional" comprenant d'Ouest en Est la plate forme Sétifienne, la plate forme Constantinoise et le bassin de Sallaoua.

La carte géologique de Constantine et de ses alentours au 1/200000 montre trois grands ensembles géologiques distincts (Figure II .4) :

- L'ensemble anté-nappes correspond aux formations Anté-néogènes dont le Crétacé néritique constitue le soubassement et dont l'enracinement ou le flottement fait l'objet de grandes controverses. Il est caractérisée principalement par des formations carbonatées de Jurassique supérieur au Sénonien Transgressif (Vila, 1980);
- Les nappes telliennes;
- Les séries post-nappes constituent les formations du Mio- Pliocène continental et du Quaternaire. Il s'agit d'une série détritique hétérogène essentiellement alluvionnaires formant ainsi les bassins de Constantine et de Mila.

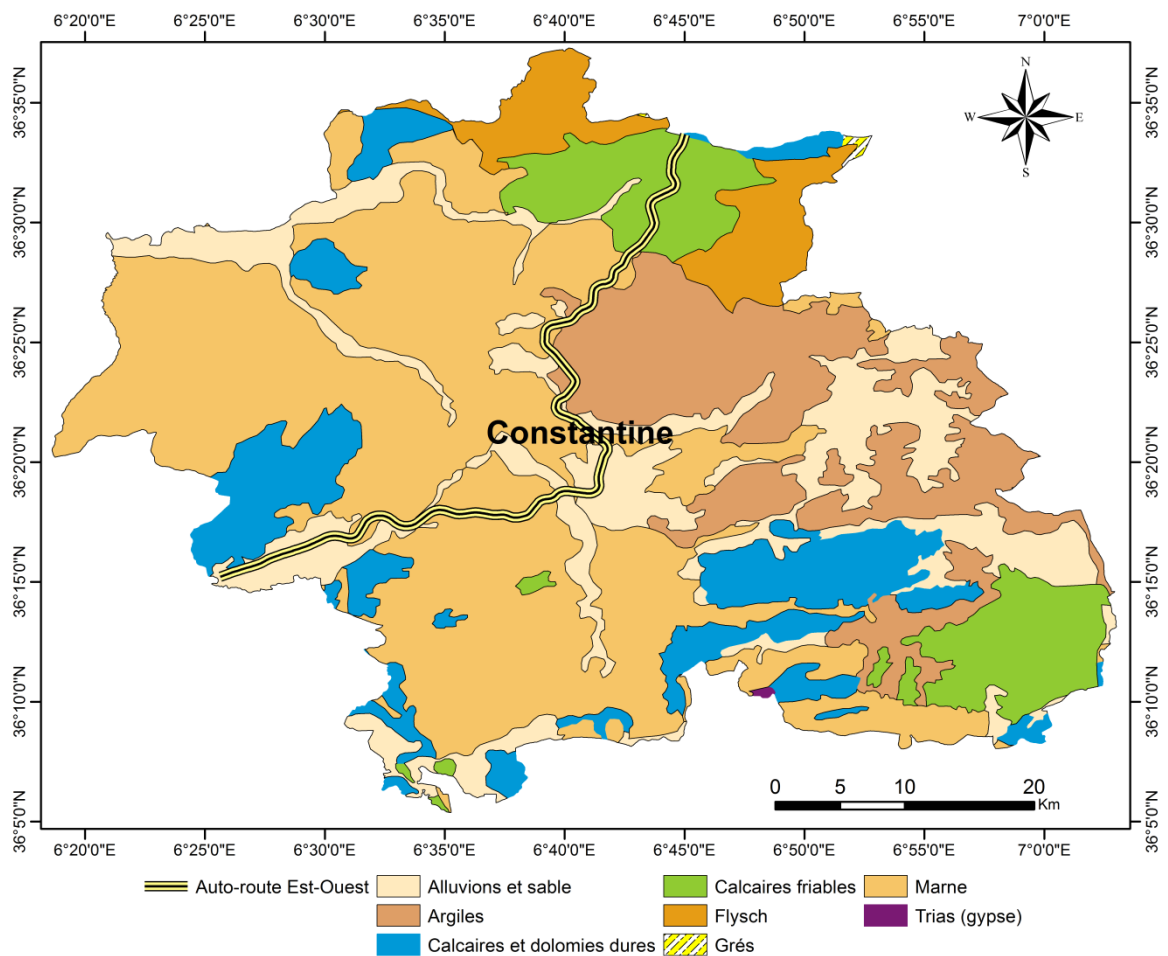


Figure II .4 : Lithologie de la wilaya de Constantine (extraite de la carte géologique Constantine au 1/200000)

II.5.Climat

D'après l'organisation météorologique mondiale (OMM), le climat est défini comme étant «la synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère.» (OMM, 2011). Le changement des paramètres climatiques (les précipitations, les températures, les vents...etc.) d'une saison à une autre ou d'une année à une autre fait partie du climat. Cette variation naturelle reste stationnaire à long terme (ADJIM, 2018).

Pour une période assez longue, on calcule d'abord les moyennes mensuelles ou annuelles des principaux éléments, puis on les groupe sous forme des tableaux.

II.5.1.Origine de données climatiques

La source des données climatiques est la station de Constantine pour une période de 30 ans (1988 _ 2018). Ces paramètres sont : les précipitations, les températures et l'humidité (Tableau II.1).

Tableau II.1: Caractéristiques géographiques de station de Constantine

Nom de station	Coordonnées géographiques		Altitude(m)	Données disponibles	Période
	Latitude	Longitude			
Constantine	6° 36' 41" E	36° 20' 44" N	590	P, T et H	(1988_2018)

P : Pluviométrie (mm)

T : Température °C

H : Humidité (%)

II.5.2 .Paramètres climatiques

II.5.2.1.La pluviométrie

« La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale, non seulement pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestre, mais aussi pour certain écosystème limniques tels les mares et les lacs temporaire, et les lagunes saumâtres soumises à des périodes d'assèchement. » (Ramade, 2003 in Bengouga, 2010).

Nous intéressons principalement à l'évaluation mensuelle et saisonnière des quantités de pluie tombée au cours de la période 1988-2018 dans le site de Constantine.

a) Précipitations Moyennes mensuelles

Tableau II.2: Précipitations mensuelles enregistrées à la station de Constantine pendant la période (1988-2018).

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Sép	Oct.	Nov.	Déc.
P (mm)	65.22	51.14	53.71	51.41	42	16.51	5.33	17.95	35.84	35.24	54.75	74.79

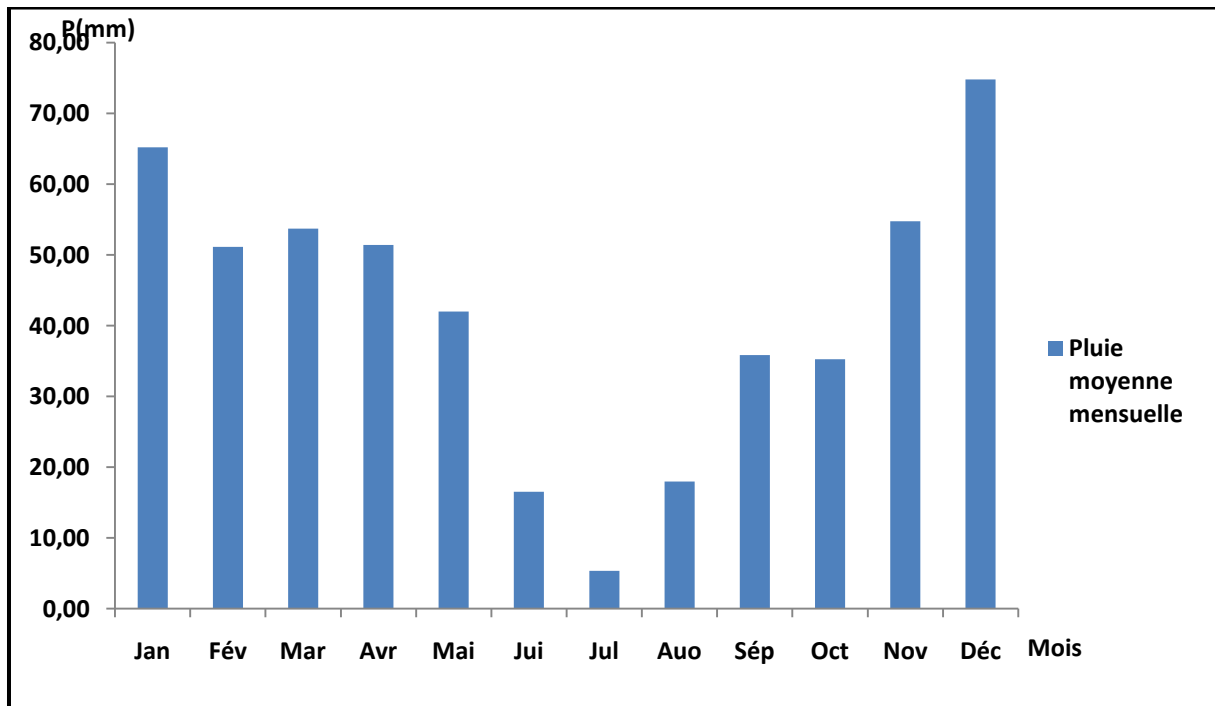


Figure II.5: précipitations Moyennes mensuelles dans la station de constantine (1988_2018).

La figure montre que décembre est le mois le plus arrosé avec une moyenne de 74.79mm et le mois le plus sec est juillet avec une moyenne de 5.33mm.

La Pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 503.89mm.

b) Répartition saisonnière des précipitations

Le régime saisonnier dépend sur la répartition des pluies selon les quatre saisons. Nous classons ces quatre saisons par ordre décroissant des cumuls pluviométriques, nous obtenons l'indicatif saisonnier "type". (MESSOUS, 2013), (Tableau II.3), (Figure II.6).

Tableau II.3: Répartition saisonnière des précipitations pour la station de constantine (1988_2018).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
Précipitations (mm)	125,83	191,15	147,12	39,79
Précipitations (%)	24,97	37,93	29,20	7,90

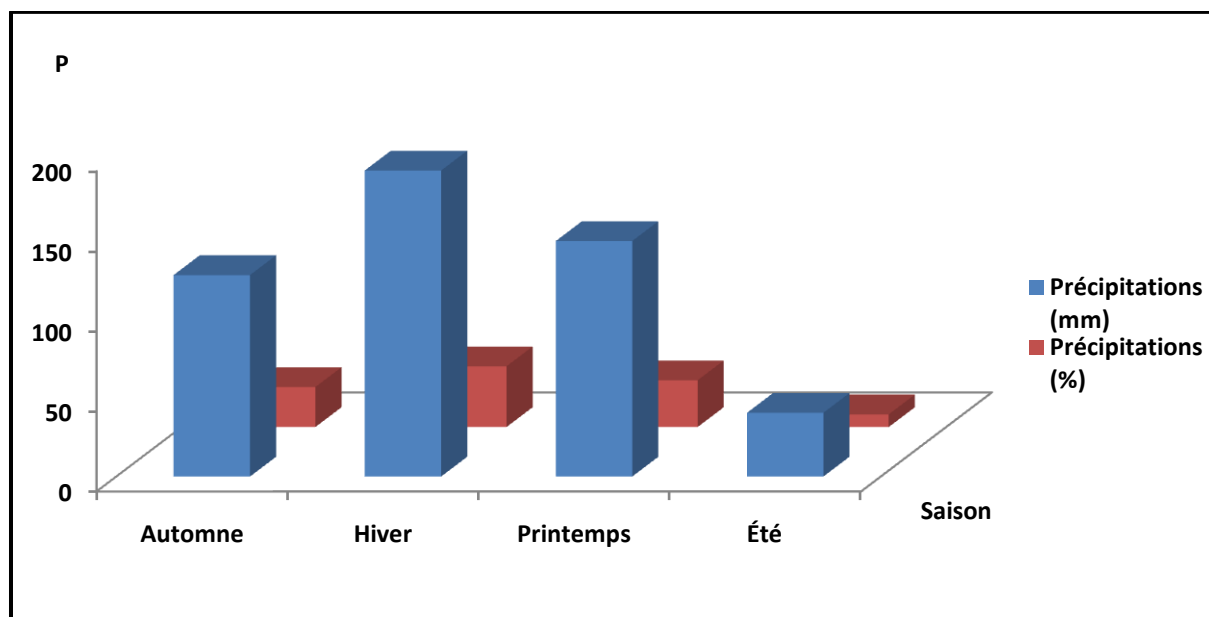


Figure II.6: Répartition saisonnière des précipitations dans la station de constantine (1988_2018).

Selon la figure La station est caractérisé par un régime saisonnier de type HPAE, avec un hiver plus pluvieux de 191.15mm et un été sec de 39.79mm.

II.5.2.2. Température

« La température est également un élément écologique fondamental en tant que facteur climatique vital et déterminant dans la vie des végétaux. Elle conditionne en effet la durée de la période de végétation. La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère. » (Ramade, 2003).

On utilise essentiellement les températures maximales, minimales et moyennes, (Tableau II.4), (Figure II.7).

Tableau II.4: Moyennes mensuelles des températures en station de Constantine (1988_2018).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sép	Oct	Nov	Déc
m	2.56	2.77	4.90	7.04	10.84	15.11	18.28	18.53	15.58	11.82	6.83	3.65
M	12.38	13.16	16.44	19.54	25.08	30.65	34.58	34.36	29.02	24.42	17.42	13.18
(m+M) /2	7.47	7.96	10.67	13.29	17.96	22.88	26.43	26.44	22.30	18.12	12.12	8.42

Avec :

m : température moyenne mensuelle minimale

M : température moyenne mensuelle maximale

m+M/2 : température moyenne

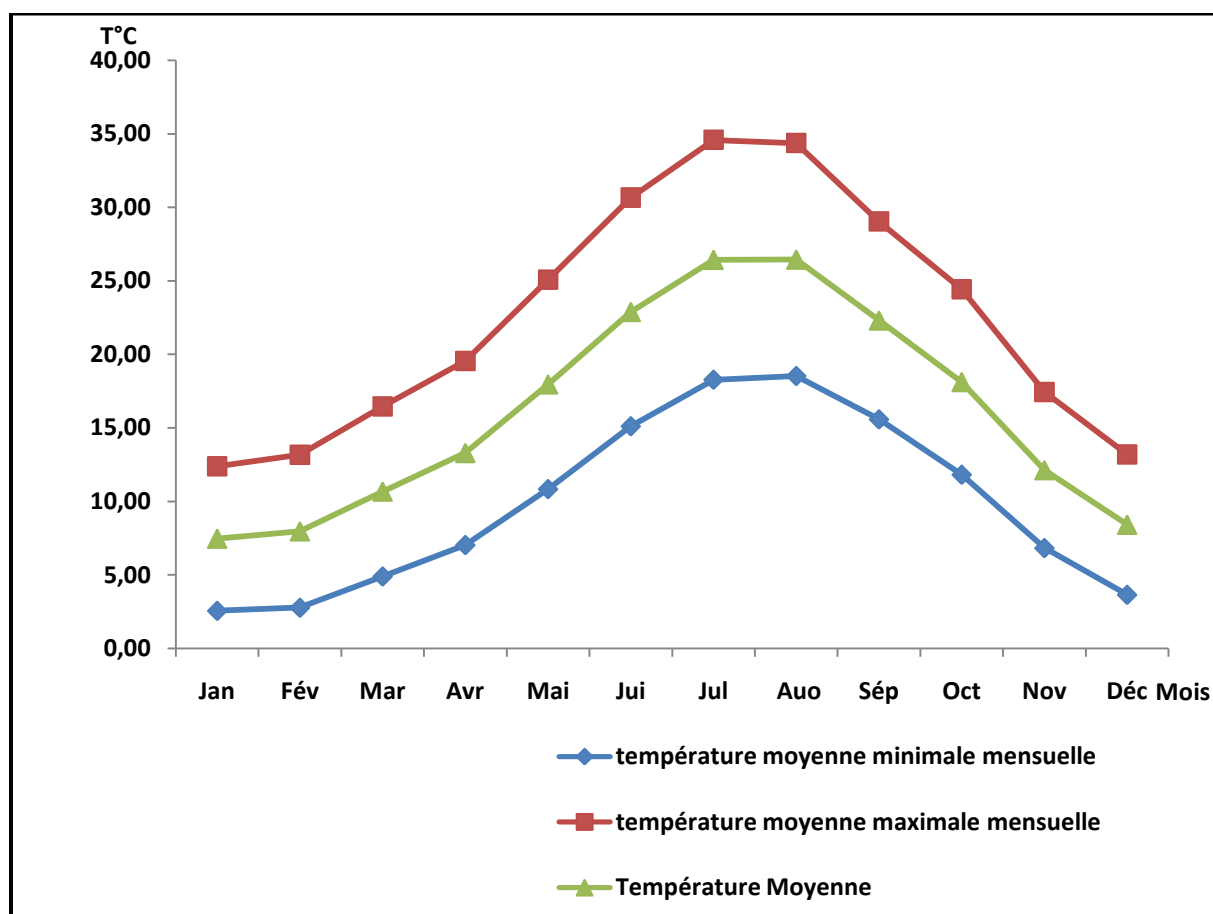


Figure II.7: Variations des températures moyennes mensuelles, minimales et maximales dans la station de constantine (1988_2018).

D'après la figure, la moyenne mensuelle la plus élevée est observée durant le mois de Juillet (26.44°C). Tandis que la moyenne la plus basse est relevée en hiver durant le mois du Janvier (7.47°C). Quant à la moyenne de température maximale la plus élevée elle est enregistrée pour le mois de Juillet où elle atteint 34.35°C, alors que celle de température minimale la plus basse elle est observée au mois du Janvier où l'on enregistre 2.56°C. La moyenne annuelle est de l'ordre de 16.17°C.

II.5.2.3. Humidité relative

« C'est le rapport entre la teneur en vapeur d'eau de l'air et la masse théorique de vapeur d'eau que peut renfermer l'atmosphère à saturation compte tenu de la température et de la pression barométrique existante. » (Ramade, 2003 in BENGOUGA, 2010).

Nous étudions les données d'humidité mensuelle de la station de Constantine pour la période allant de 1988 à 2018 enregistré dans le tableau (II.5) et représenté sur le graphe (figure II.5).

Tableau II.5: Humidité mensuelle de la station de Constantine (1988_2018).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sép	Oct	Nov	Déc
Humidité	79,36	76,73	72,40	69,66	64,93	54,39	46,41	49,41	62,06	66,94	74,03	78,57

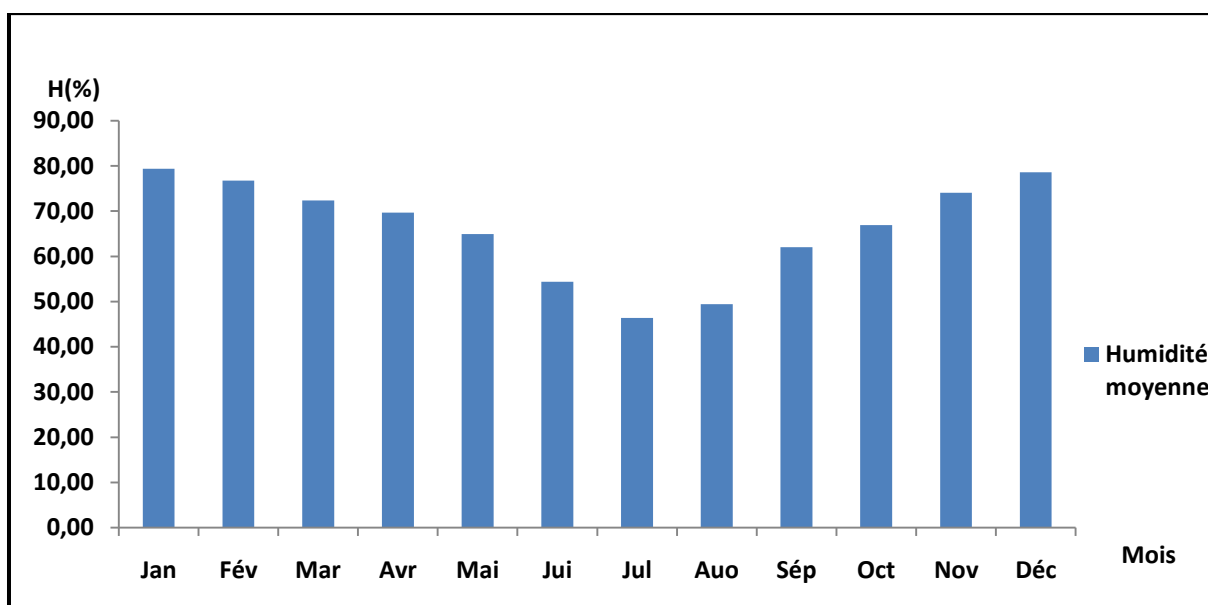


Figure II.8: humidité moyenne mensuelle pour la station de Constantine (1988_2018)

On remarque un minimum enregistré pendant le mois de juillet avec une valeur de 46.41% et un maximum enregistré pendant le mois de janvier avec une valeur de 79.36%. La moyenne annuelle est de l'ordre de 66.64 %.

II.5.3.Synthèse climatique

La combinaison des données des précipitations et celles des températures par des méthodes graphiques permet de mettre en évidence :

- Les périodes sèches et humides à partir de diagramme pluvothermique de Bagnouls et Gaussen;
- Le domaine climatique ou le type de climat à partir de climagramme d'Emberger (Khechana 2007).

Tous les éléments du climat agissent en même temps pour former un milieu climatique. il existe divers méthodes Pour estimer l'influence des principaux éléments,. Les plus utilisés en région méditerranéenne sont : Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen et le climagramme pluviométrique d'Emberger.

Ces deux systèmes définir le bioclimat d'une station donnée par trois paramètres climatiques : précipitations (mm), températures maximales et minimales (C°) (Laala, 2009).

II.5.3.1.Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme a pour objectif de déterminer la période favorable et la période défavorable par une représentation graphique portant en abscisse les mois de l'année et on ordonnée, à gauche les précipitations exprimées en millimètres et à droite les températures exprimées en degrés Celsius. Avec une 'échelle $P=2T$, on considère un mois sec lorsque $P < 2T$. (Benabadji et Bouazza, 2000).

Il Confirme aussi la place de notre zone d'étude dans le climat méditerranéen tel que le définit Emberger, (Figure II.9).

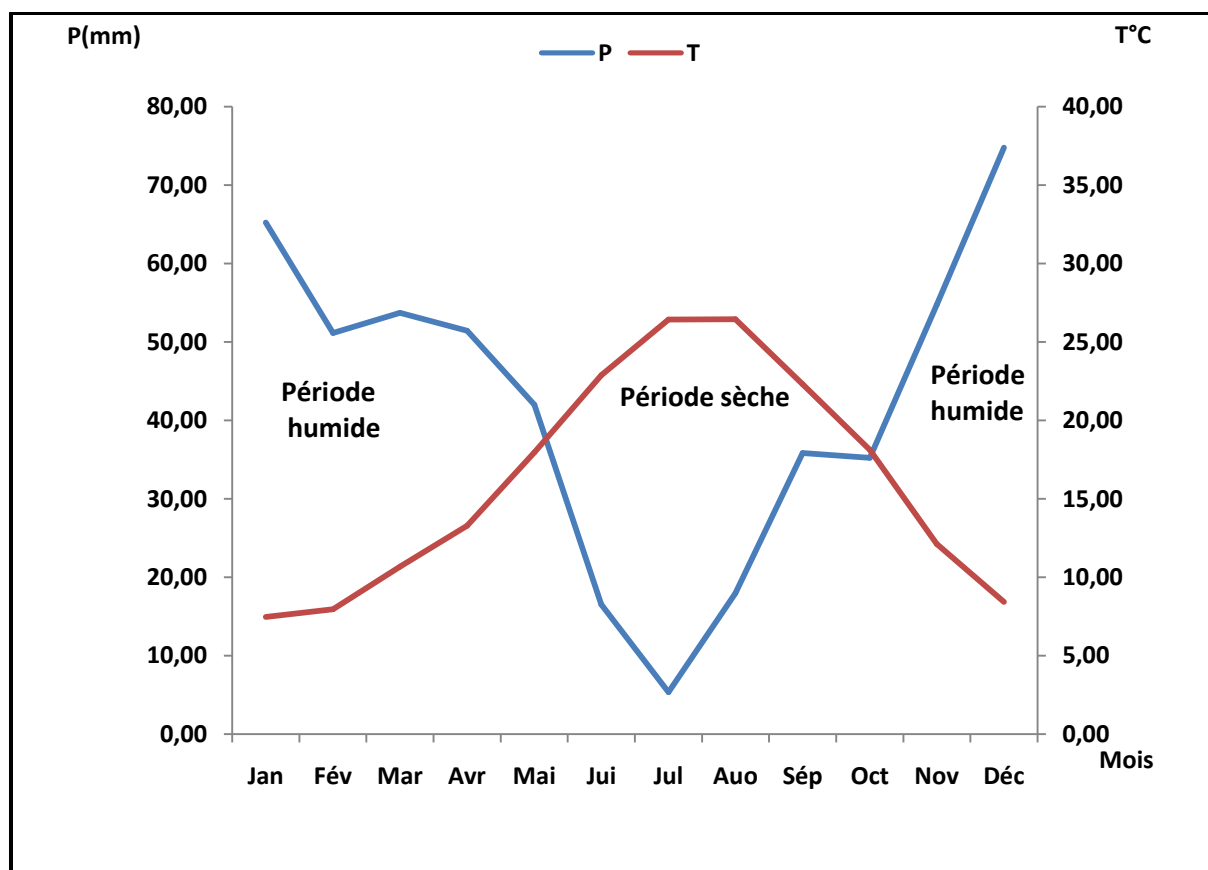


Figure II.9:Diagramme ombrothermique de BAGKOULS et GAUSSEN dans la station de Constantine (1988_2018).

II.5.3.2.Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger

Ce quotient, a proposé par Emberger en 1955 puis il a amélioré par Daget en 1977, pour caractériser le climat des régions méditerranéennes. (Barket 2014).

Le climagramme est divisé en cinq étages bioclimatiques (saharien, aride, semi aride, subhumide et humide). Ces derniers sont subdivisés en sous étages (inférieur, moyen et supérieur) et en variante thermiques (froid, frais et chaud) en fonction de la valeur m.

Le quotient pluviométrique d'Emberger a pour expression :

$$Q = 2000 P/M^2-m^2$$

Avec:

P: moyenne des précipitations annuelles en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés kelvin.

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degrés kelvin.

Sachant que : ($^{\circ}K = ^{\circ}C + 273.15$).

Le quotient pluviométrique pour la station de Constantine est illustré dans le Tableau (II.6) et la Figure (II.10).

Tableau II.6: Quotient pluviométrique pour la station de Constantine (1988_2018)

Pluviométrie annuelle (mm)	Températures				Q2	Etage bioclimatique
	Mois le plus chaud	M (°K)	Mois le plus froid	m (°K)		
503.89	Juillet	307,73	Janvier	275,71	53.94	Semi aride à hiver frais

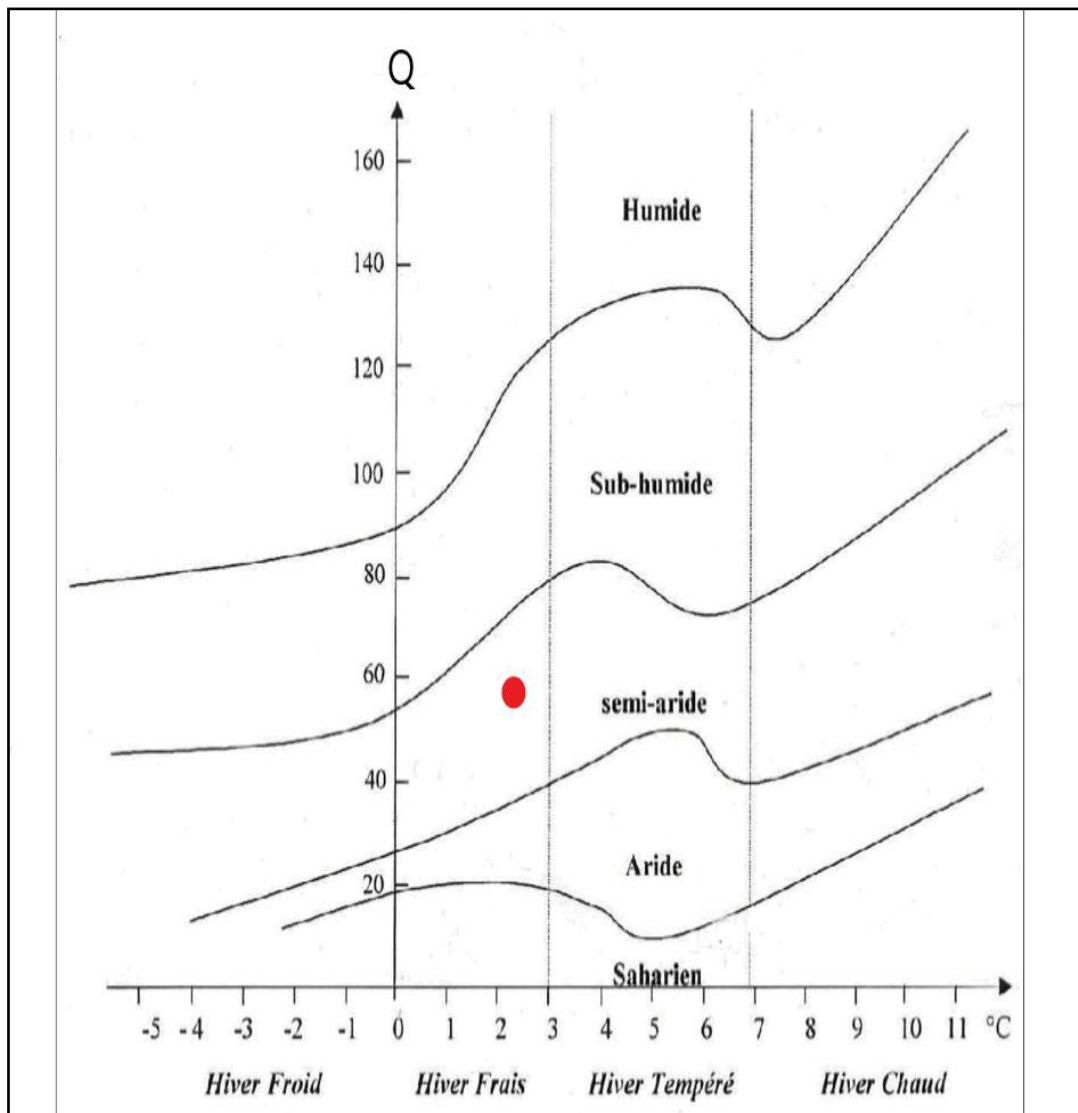


Figure II.10: Climagramme d'Emberger pour la station de Constantine (1988_2018).

II.6. Aperçu socio-économique

Selon l'Office National des Statistiques (OMS), la wilaya de Constantine dénombre plus de 700.000 habitants, caractérisée par une densité de population de plus de 400 habitants/km², répartis entre agglomération, rurale et éparsé.

L'essentiel de la population travaille dans le secteur administratif mais surtout industriel. Le tissu industriel est surtout concentré autour des grandes agglomérations (Constantine, El Khroub).

Une partie de la population travaille dans le secteur agricole. Ce secteur est caractérisé par des cultures de maraichères comme principale activité. L'irrigation est soit traditionnelle (gravitaire), soit moderne (canaux d'aspersion).

Tableau II.7: Industrie dans la zone d'étude (ABH-CSM)

Lieu d'implantation	Commune	Caractéristiques	
		Nom	Nature/type
Chaab Eressas	Constantine	COTITEX	Textile filature
Chaab Eressas	Constantine	ORELAIT	Lait et dérivés
Ben Badis	Ben Badis	S.N.T.A	Produit Tabagiques
El Khroub	El Khroub	ERAD	Minoterie
O.Hamimime	El Khroub	E.N.P.M.A	Moteurs, Tracteurs
O.Hamimime	El Khroub	P.M.O	Machines-Outils
Z. Industrielle	Constantine	E.N.G.I	Production de gaz industriel
Z. Industrielle	Constantine	S.N.V.I	Entretien des camions et bus
Constantine	Constantine	Limonadière	Boissons gazeuses et sirop
Z.I Boumerzoug	Constantine	Limonadière	Boissons gazeuses
El Tarf	Ben Badis	SNATA	Tabacs
El Tarf	Ben Badis	SOALCO	Production de margarine
	Bounouara	Naftal	Produits pétroliers

Tableau II.8 : L'irrigation dans la zone d'étude (ABH-CSM)

Secteur	Commune	Surface Irrigable (HA)	Surface Irriguée (HA)	Culture
Boumerzoug	Constantine	4000	500	Maraichage
El Meridj	El Khroub	14	12	Maraichage
El Meridj	El Khroub	15	6	Maraichage
Lambléche	El Khroub	20	13	Maraichage
Lambléche	El Khroub	25	10	Maraichage
Lambléche	El Khroub	50	27	Maraichage

II.7. Répartition des terres

La région de Constantine est caractérisée par la dominance des zones agricoles et agropastorale (de plaine, collines, piémonts et montagne) qui représentent 88% des superficies de la région. Les terres forestières constituées de forêts, de maquis et de reboisements ne couvrent que 9% de la superficie totale (Bouterraa M, 2014).

La répartition des terres autour de l'autoroute Est-Ouest c'est à dire dans la wilaya de Constantine se présente comme suit :

- Prédominance des terres agricoles qui sont constituées essentiellement de cultures et cultures associées aux parcours.
- Les terres forestières (forêts, maquis et reboisements) occupent une superficie totale de 19154 Ha.
- Les parcours (hors forêts et hors SAU) occupent une superficie inférieure à 10% du territoire.

II.7.1. Répartition des formations végétales

Vers Constantine, Il existe une seule zone forestière, c'est celle des piémonts d'El Aria qui représente seulement 3% du territoire de la Wilaya, et 2 zones où la typologie forestière est appréciable mais non dominante, c'est la sous zone du massif d'Oum Settas et celle de Djebel Ouahch à typologie domaniale agricole et forestière en second lieu qui représente 15% de la superficie de la Wilaya (Bouterraa M, 2014).

Tableau II.9 : Répartition des formations forestières dans la zone d'étude

	Formations forestières (Ha)			
	Forêts	Maquis	Maquis arborés	Reboisements
Constantine	9437	7812	1905	8412

II.8. Aperçu sur l'autoroute Est-Ouest

L'autoroute Est-Ouest est un des plus grands projets de travaux publics de l'histoire de l'Algérie. C'est une autoroute spacieuse, conçue avec une multitude d'ouvrages d'art répondant aux normes internationales, avec des pénétrantes qui la relie à toutes les villes d'Algérie.

Cette route traverse l'Algérie d'Est vers l'Ouest parallèlement à la côte méditerranéenne, reliant la ville de Maghnia (frontière marocaine) à El Taref (frontière

tunisienne) sur une distance de 1 216 km, passant par de grande villes telles que Tlemcen, Oran, Chlef, Alger, Sétif, Constantine, Skikda et Annaba.

Le projet de l'Autoroute Est-Ouest a démarré en 2006, plusieurs tronçons existaient déjà. Les nouveaux tronçons ont commencé à être livrés petit à petit depuis 2008. Les tronçons Ouest et Centre, réalisés par le groupement chinois CITIC-CRCC, ont été livrés à la circulation, mais les travaux réalisés sur la section Est par le groupement japonais COJAAL n'ont pas été achevés jusqu'à ce jour, puisque les travaux se sont arrêtés au niveau du tronçon reliant la wilaya de Annaba et les frontières tunisiennes.

CHAPITRE III

MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

III.1. Echantillonnage

Il s'agit d'un échantillonnage aléatoire le long de l'autoroute Est -Ouest pendant le mois de mars. Cet échantillonnage se base sur l'utilisation de deux espèces les plus répandus à proximité de route qui sont l'Acacia des quatre saisons (*Acacia retinoides*) et le laurier rose (*Nerium oleander*).

Le choix des deux espèces est lié à trois raisons essentielles ; d'abord comme ce sont les plus répandues sur l'autoroute Est-Ouest, elles sont susceptibles de traduire au mieux l'ampleur de la pollution atmosphérique (particule en suspension), elles appartiennent au sous-embranchement des gymnospermes, arbres parmi les plus utilisées pour détecter cette pollution. L'utilisation des feuilles des végétaux ligneux contribue ainsi à la quantification de la pollution de l'air par les rejets des automobiles dans les centres urbains (Bouteraa M 2014).

III.2. Plan d'échantillonnage

L'échantillonnage effectué le long de l'autoroute Est-Ouest comprends 12 points, localisés au niveau des pénétrants de l'autoroute et entre chaque pénétrants successifs.

Ces points d'échantillonnage ou stations sont composées sont situés à des distances bien défini du chaussé de l'autoroute.

Les stations d'échantillonnage sont déterminées selon la présence des deux espèces étudiées : Acacia des quatre saisons (*Acacia retinoides*) et le laurier rose (*Nerium oleander*).

Les stations d'échantillonnages choisis s'étendent depuis le pénétrant de l'université Constantine 3 jusqu'au tunnel de l'autoroute Est-Ouest (tableau III.1).

III.2.1. Stations d'échantillonnage

L'échantillonnage sur douze stations choisies est porté sur l'autoroute Est-Ouest au niveau des pénétrants et aux croisements avec d'autres routes communales ou de wilaya.

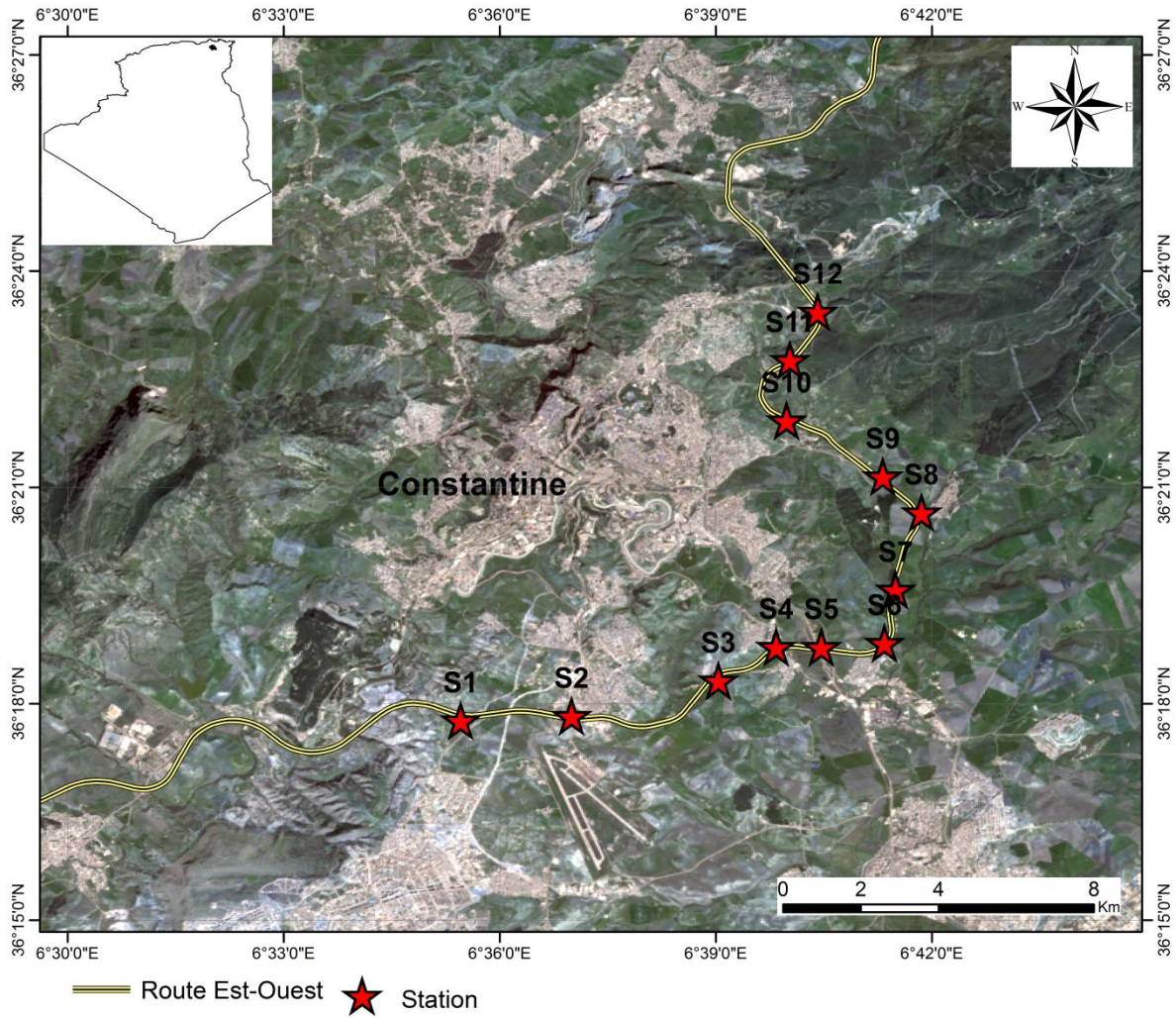


Figure III.1 : Localisation des stations d'échantillonnage

Tableau III.1 : Localisation et caractéristique des points d'échantillonnage

Station	Latitude(E)	Longitude(N)
S1	6° 35' 27"	36° 17' 47"
S2	6° 36' 59"	36° 17' 50"
S3	6° 39' 2"	36° 18' 19"
S4	6° 39' 50"	36° 18' 47"
S5	6° 40' 28"	36° 18' 48"
S6	6° 41' 20"	36° 18' 50"
S7	6° 41' 29"	36° 19' 35"
S8	6° 41' 51"	36° 20' 39"
S9	6° 41' 19"	36° 21' 9"
S10	6° 39' 58"	36° 21' 55"
S11	6° 40' 1"	36° 22' 46"
S12	6° 40' 24"	36° 23' 26"

- **Station 1**

Cette station est localisée près du pénétrant allant vers l'université Constantine 3. Le couvert végétal de faible densité, mais les terres agricoles sont très caractéristiques des haut plateaux constantinois. L'agglomération est dominée par la ville nouvelle de Constantine.



Figure III.2 : Points d'échantillonnage de la station S1

- **Station 2**

Cette station est implantée près du pénétrant de Zouaghi. Il s'agit d'une région très active, caractérisée par croisement de l'autoroute Est Ouest et la route nationale 3, et à urbanisation dense. Le couvert végétal est un mélange entre arbres et arbustes, (Figure III.3).



Figure III.3 : Points d'échantillonnage de la station S2

- **Station 3**

Cette station localisée en face du zénith près de la route menant vers Zouaghi depuis l'aéroport de Constantine. Elle dominée par un couvert végétal à arbustes dense entouré de terres agricoles (Figure III.4).



Figure III.4 : Points d'échantillonnage de la station S3

- **Station 4**

Cette station près de la route menant vers la ville de Constantine depuis El-Khroub passant par le quartier de Chaab Erassas, près du lotissement El Djeddour. C'est une région agricole entourant une agglomération devenant de plus en plus dense (Figure III.5).



Figure III.5 : Points d'échantillonnage de la station S4

- **Station 5**

Dans cette station le couvert végétal est plus ou moins dense, mais très urbanisée. Elle est localisée près du pénétrant de Sissaoui croisée par la route national 3 passant par la ville d'El-Khroub (Figure III.6).



Figure III.6 : Points d'échantillonnage de la station S5

- **Station 6**

Cette station est située à la sortie du petit tunnel menant vers l'agglomération d'El Mridj.



Figure III.7 : Points d'échantillonnage de la station S6

- **Station 7**

Cette station est située entre le tunnel et l'agglomération d'El Mridj à mi chemin. Elle est dominée par des arbustes denses entourés de terres agricoles (Figure III.8).



Figure III.8 : Points d'échantillonnage de la station S7

- **Station 8**

Elle est implantée en face l'agglomération d'El Mridj, dans une région de loisirs à cause de la densité de la végétation (Figure III.9).



Figure III.9 : Points d'échantillonnage de la station S8

- **Station 9**

Elle implantée à coté du pénétrant d'El Mridj. C'est une région rurale où les terres agricole dominant largement avec un couvert forestier plus ou moins denses (Figure III.10).



Figure III.10 : Points d'échantillonnage de la station S9

- **Station 10**

Cette station est située dans une région à végétation dense près de la sortie de l'agglomération d'El Mridj et en face du lotissement de Benchicou (Figure III.11).



Figure III.11 : Points d'échantillonnage de la station S10

- **Station 11**

Le couvert végétal en cette station est de faible densité dominée de terre agricole. Elle est localisée précisément en face des agglomérations des grandes hauteurs de Constantine près de Djbel Ouahch (Figure III.12).



Figure III.12 : Points d'échantillonnage de la station S11

- **Station 12**

En parcourant cette station, nous notons l'existence d'un couvert végétal très riche : des terres agricoles, espaces verts urbains et un espace forestier très dense (Figure III.13).



Figure III.13 : Points d'échantillonnage de la station S12

III.3. Compagnes et techniques de prélèvement

Une seule campagne de prélèvement a été effectuée pour les deux espèces durant le mois de mars qui correspond essentiellement à la période de floraison. Cette campagne permet d'établir un suivi de l'évolution de la pollution dans l'espace le long de l'autoroute Est-Ouest. Elle renseigne également sur l'impact et l'étendue de la pollution atmosphérique d'une station à une autre.

Le prélèvement des feuilles se faisait entre 1,50 m et 2 m du sol pour éviter les contaminations dues aux projections venant du sol. Pour avoir un échantillon homogène une vingtaine de feuille a été prélevé sur le pourtour de chaque arbre. Les échantillons prélevés sont placés dans des sacs de papiers pour limiter les pertes d'eau par l'évapotranspiration jusqu'à l'arrivée au laboratoire.



Photo III.1 : Fruits d'*Acacia retinoides*
(mars ,2020)



photo III.2 : Fleurs de *Nerium oleander*
(mars ,2020)

III.4. Matériel végétal

III.4.1. Acacia à quatre saisons

Le Mimosa des quatre saisons (*Acacia retinoides*) est un petit arbre de la famille des Fabaceae. Il est originaire de l'Australie

Comme son nom l'indique, il peut fleurir à plusieurs périodes de l'année. L'acacia des quatre saisons est donc une plante méditerranéenne résistante à la sécheresse .Il a aussi la particularité de supporter les sols calcaires, contrairement à la plupart des autres espèces, d'où son emploi fréquent comme porte-greffe.

III.4.1.1. Classification

Règne	:	Plantae
Sous-règne	:	Tracheobionta
Division	:	Magnoliophyta
Classe	:	Magnoliopsida
Sous-classe	:	Rosidae

Ordre	:	Fabales
Famille	:	Mimosaceae
Genre	:	Acacia
Espèce	:	<i>Acacia retinoides</i>

III.4.2. Laurier-rose

Le Laurier-rose (*Nerium oleander*) est une espèce d'arbustes ou de petits arbres de la famille des Apocynacées qui diffuse dans les habitats fourrés arbustifs méditerranéens, hydrophiles, des sols minéraux. Il s'agit de la seule espèce du genre *Nerium*.

Est un arbre ornemental très répandu dans le pourtour méditerranéen, pratique car résistant à la sécheresse et à la taille, il forme haies et taillis dans les jardins des particuliers, dans les parcs ou à proximité des édifices publics.

Toutes les parties de la plante contiennent de l'oléandrine, un Hétéroside cardiotonique, dont l'ingestion est fatale à faible dose ; en effet, quelques feuilles peuvent tuer un adulte. L'intoxication est très résistante aux traitements et est sévère : troubles cardiaques graves, vomissements, douleurs abdominales, et mort par arrêt cardio-circulatoire. D'autres glycosides y sont également présents en petite quantité.

III.4.2.1. Description

Le laurier-rose est un arbuste d'environ 2 m de hauteur mais il peut mesurer plus de 4 m de haut si on le forme en arbre. Ses fleurs sont simples, doubles ou triples avec une couleur blanche, jaune, orangée, rouge ou de diverses nuances de rose. Ses feuilles vert foncé sont allongées et persistantes.

III.4.2.2 Classification

Règne	:	Plantae
Division	:	Magnoliophyta
Classe	:	Magnoliopsida

Ordre	:	Gentianales
Famille	:	Apocynaceae
Genre	:	<i>Nerium</i>
Espèce	:	<i>Nerium oleander</i>

III.5. Paramètres mesurés

III.5.1. Dosage de la chlorophylle

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

- macérer les feuilles dans un mélange d'acétone et d'éthanol (75 % et 25%), (03 répétition)
- couper les feuilles en petits morceaux et les mettre dans des boîtes noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière).
- procéder à la lecture des densités optiques des solutions à l'aide d'un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes (645 et 663 nm), après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80% et d'éthanol à 20%.

-déterminer les teneurs en chlorophylles selon les formules suivantes :

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

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

$$CH t = CH a + CH b$$

Avec: V : Volume solution extraite. W : Poids de matière fraîche de l'échantillon.

III.5.2. Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindesly (1955), simplifiée et mise au point par Dreier et Goring (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986).

Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique.

La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

L'extraction de la proline consiste à :

- prélever 100 mg de matière fraîche foliaire et les mettre dans des tubes à essai, (03 répétition)
- ajouter 2 ml de Méthanol à 40 %.
- porter les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) à l'ébullition au bain Marie à 85 °C pendant 60 min.

- prélever, après refroidissement, 1 ml de l'extrait de chaque tube et mettre dans de nouveaux tubes auxquels on ajoute 1 ml d'acide acétique.
- ajouter, dans chaque tube, 1 ml de mélange contenant 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique (H₃PO₄, densité 1,7) et 25 mg de ninhydrine.
- porter le mélange à ébullition durant 30 min. La solution vire vers le rouge.
- extraire le chromatophore, après refroidissement des solutions, avec 5 ml de toluène; deux phases se séparent après agitation au vortex.
- prélever la phase supérieure contenant le chromatophore à laquelle on ajoute 5 mg du sulfate de sodium oxydé Na₂ SO₄ à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau qu'elle contient.
- lire la densité optique des échantillons à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm, correspondant à son maximum d'absorption.
- calculer les concentrations (mg/100mg MF) à partir de l'équation déduite de la courbe d'étalonnage établie à l'aide de solutions allant de 0,01 à 0,2 mg de proline par ml de solution.

III.5.3. Dosage des sucres solubles

L'extraction et le dosage des sucres solubles, dans les feuilles, sont faites selon la méthode de Dubois (1956) qui consiste à :

- mettre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai, (03 répétition).
- ajouter 2 ml d'éthanol à 80%.
- laisser le tout au repos pendant 48h.
- faire évaporer tout l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain Marie à 70°.
- après refroidissement, mettre dans chaque tube à essai 20 ml d'eau distillée.
- prendre 1 ml de la solution et ajouter 1 ml de phénol à 5 % en prenant soin de bien agiter.
- ajouter 2 ml d'acide sulfurique concentré et déposer les tubes à essai dans un bain de glace; les laisser reposer durant 25 min.
- procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm.
- calculer les concentrations (mg/100mg MF) à partir de l'équation déduite de la gamme d'étalonnage.

III.5.4. Technique d'extraction des particules en suspensions

Les techniques de lavage des feuilles s'incèrent dans l'étude du pouvoir de fixation-rétention des poussières par les plantes et sont indispensables pour le dosage d'éléments

structuraux. Afin de mesurer l'importance des dépôts superficiels, on a recours à différentes techniques de lavage tel que celle de Stenbock-Farmer (1978).

Deux essais sont réalisés : dans un premier essai, l'EDTA a été utilisé comme solution de lavage. Dans le second essai, l'HCl est utilisé. Il y a lieu de comparer les quantités de poussière extraites pour chaque solution pendant des temps de traitement de 5 et de 10 minutes.

Chaque lot de feuilles est placé dans un Erlen Meyer contenant 100 ml de la solution de lavage, agité sur agitateur magnétique (\square 100 mvt/min) pendant 5 ou 10 minutes. Les feuilles sont ensuite enlevées de la solution.

Les solutions empoussiérées et les références (solutions agitées sans feuilles) sont filtrées sur filtre Millipore (45 μ m) préalablement tarés à travers un dispositif de filtration Sartorius (GSWP 0470024 ea GS 0,22 White plain).

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

Chapitre IV

RESULTAT ET DISCUSSION

CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSION

IV.1. Chlorophylle

La chlorophylle est un pigment photosynthétique, peut avoir diverses structures chimiques. Pour la plupart des feuilles, les couleurs liées au vert proviennent de la chlorophylle a et b, elles peuvent être utilisées pour identifier le niveau de stress dû à son adaptation au changement environnemental.

L'étude de la réponse physiologique des plantes confirme l'effet du stress sur la teneur en chlorophylle des feuilles. L'augmentation du niveau de stress impose une augmentation significative de la chlorophylle a et b (Shibghatallah *et al.*, 2013).

La teneur en chlorophylle est le critère le plus utilisé pour quantifier l'état général de la plante, c'est un excellent bioindicateur de pollution et de stress (Tripathi et Tripathi, 1999).

Selon Erne et Lannoye (1991), l'altération de l'état physiologique des plantes, causée par des conditions défavorables de l'environnement, se reflète rapidement au niveau des signaux lumineux et thermiques émis par les feuilles. Dalaa (2012) a mis en évidence le rôle de la chlorophylle comme bioindicateur de pollution atmosphérique (particulaire) dans la région de Constantine et plus particulièrement au alentour de la cimenterie d'El Hamma Bouziane. En effet les espèces de conifère (*Pinus halepensis*, *Cupressus macrocarpa*) représentait des symptômes de chlorose et nécrose due à l'accumulation de la poussière au niveau des feuilles ce qui a provoquer une diminution de l'activité photosynthétique impliquant la diminution de la chlorophylle. Donc ces espèces sont classée comme sensible au contrainte environnementales.

IV.1.1. Chlorophylle total

- *Acacia retinoides*

Les résultats obtenus du dosage de la chlorophylle totale indiquent des variations bien distinctes entre les stations en ce moi de mars (période de floraison), la moyenne la plus élevée est enregistré en S9 de (21.4 mg/g MF), (figure IV.1).

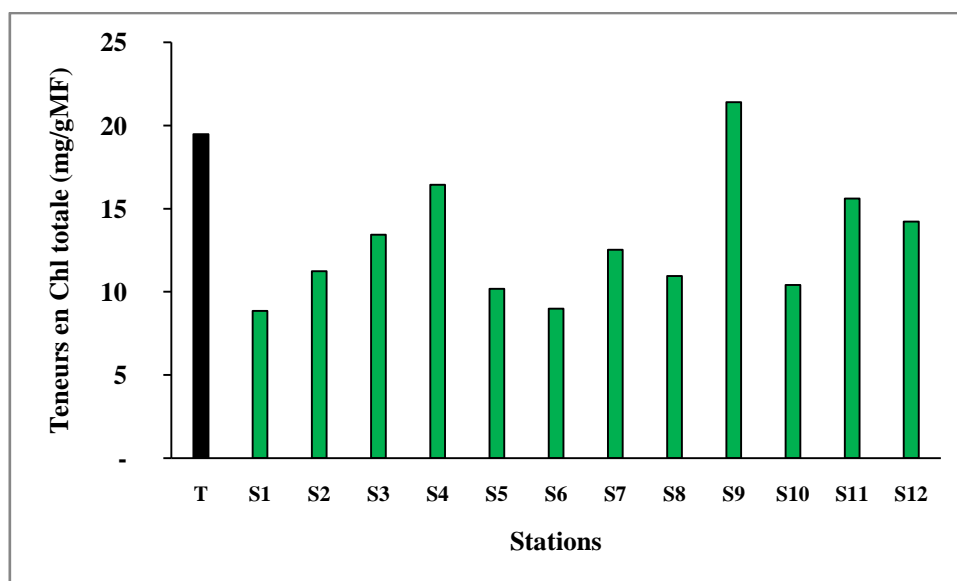


Figure IV.1: variation de la teneur en chlorophylle totale en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test de l'analyse de la variance qui montre qu'il existe une différence très hautement significative ($Pr < 0.0001$).

- *Nerium oleander*

Les valeurs enregistrées de la teneur en chlorophylle totale varie légèrement d'une station à l'autre. Selon la figure (IV.2), la teneur maximale en chlorophylle est de (10.72 mg/g MF) au niveau de la station S11.

L'analyse de la variance pour un facteur montre une différence non significatif entre les stations pour ce paramètre ($Pr = 0.329$ et $Pr = 0.117$)

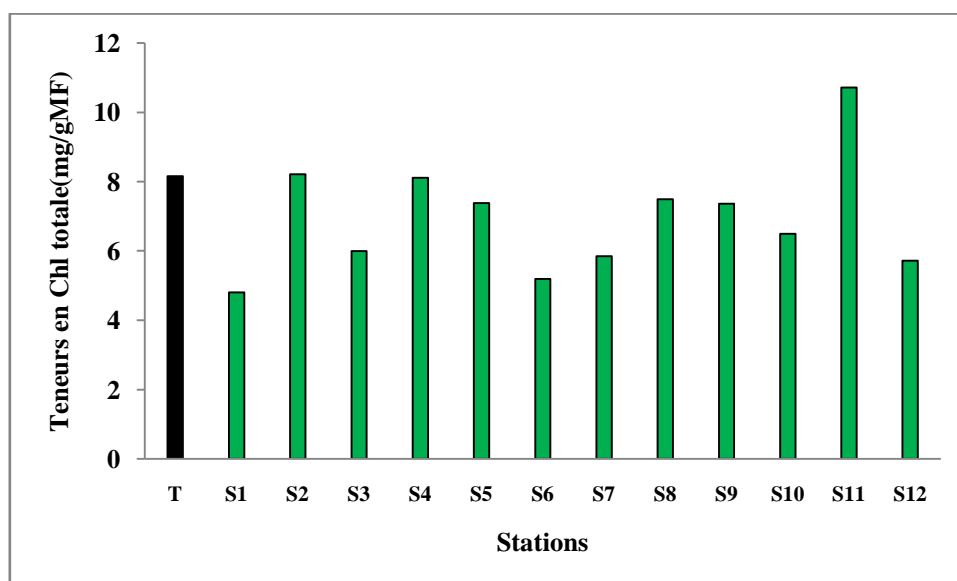


Figure IV.2: variation de la teneur en chlorophylle totale en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

IV.1.2. Chlorophylle (a)

- *Acacia retinoides*

La teneur en chlorophylle (a) (figure IV.3) au niveau des stations de mesure montre des valeurs plus ou moins faible qui n'atitent pas les 6mg/g MF.

L'Analyse de la variance nous a données des différences hautement significatif ($Pr < 0.0001$).

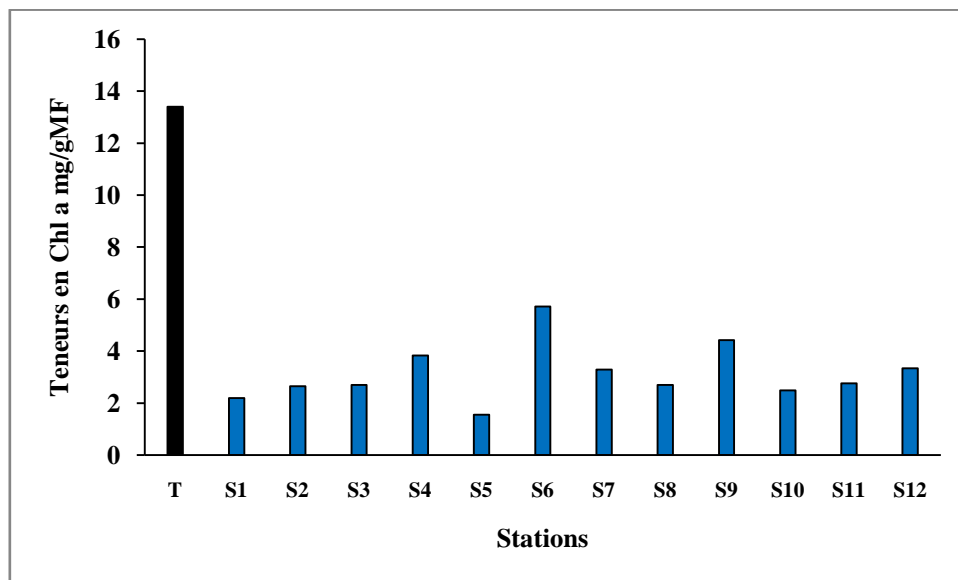


Figure IV.3: variation de la teneur en chlorophylle (a) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

- *Nerium oleander*

La teneur en chlorophylle (a) varie d'une station à l'autre, la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau de la station S6 (2.70 mg/g MF), (Figure IV.4).

L'analyse de la variance pour ce paramètre nous montre une différence très significatif ($Pr = 0,002$).

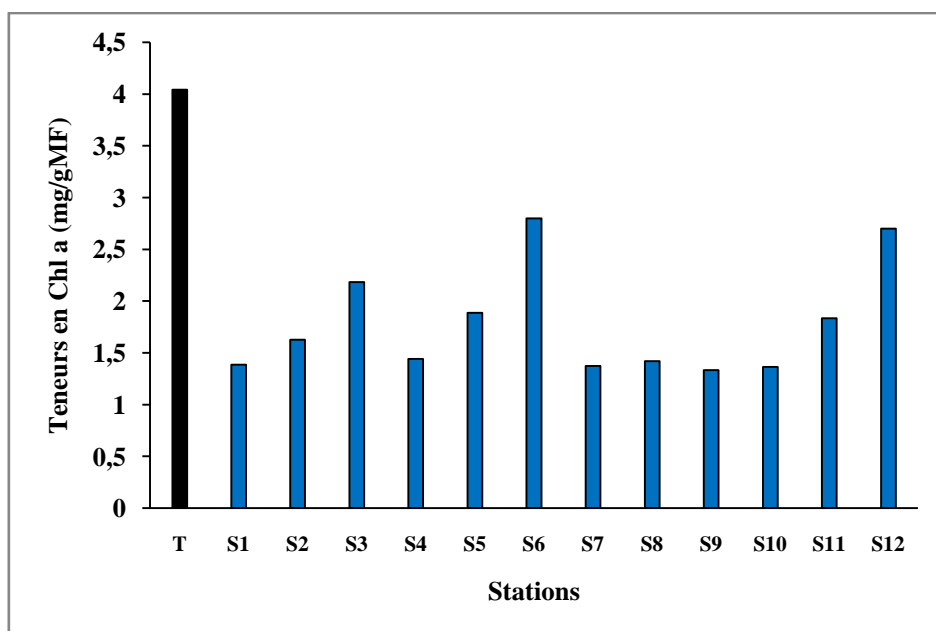


Figure IV.4: variation de la teneur en chlorophylle (a) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

IV.1.3. Chlorophylle (b)

- *Acacia retinoides*

La figure (IV.5) montre des teneurs en chlorophylle (b) qui se varient d'une station à l'autre. En effet la valeur la plus élevée est enregistré au niveau de la station **S9** qui présente une valeur moyenne maximale de l'ordre de (16.10 mg/g MF). Les valeurs minimales sont obtenues par la station de S6 et S12, avec respectivement (2.61 mg/g MF) et (2.13 mg/g MF).

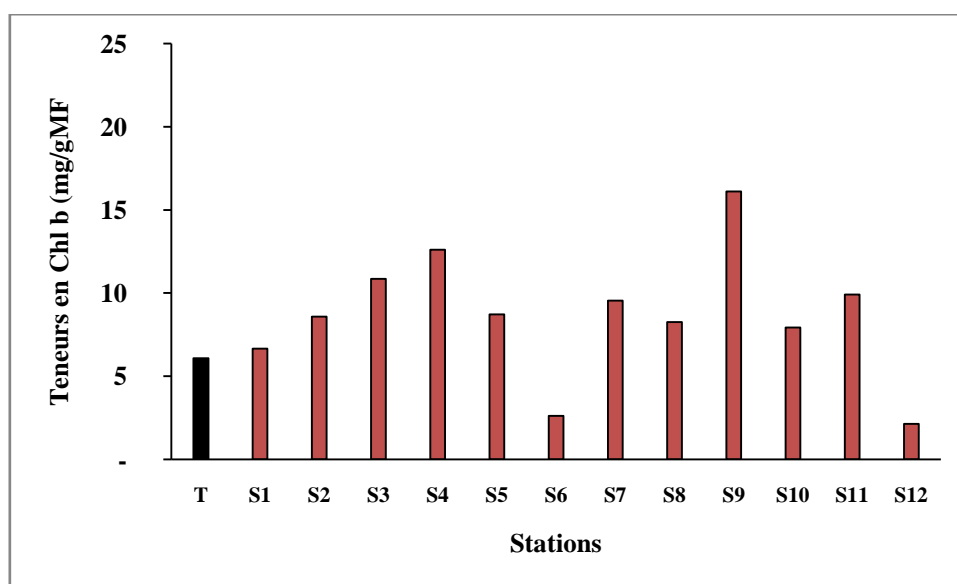


Figure IV.5 : variation de la teneur en chlorophylle (b) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

L'analyse de la variance a un facteur montre qu'il existe une différence très hautement significative des teneurs en chlorophylle (b) entre les stations ($Pr < 0,0001$).

- *Nerium oleander*

Pour ce paramètre, on a enregistré des teneurs de chlorophylle (b) qui varient légèrement d'une station à l'autre avec des différences non significatif ($Pr = 0,447$), et une moyenne de l'ordre de 4.89 mg/g MF (Figure IV.6).

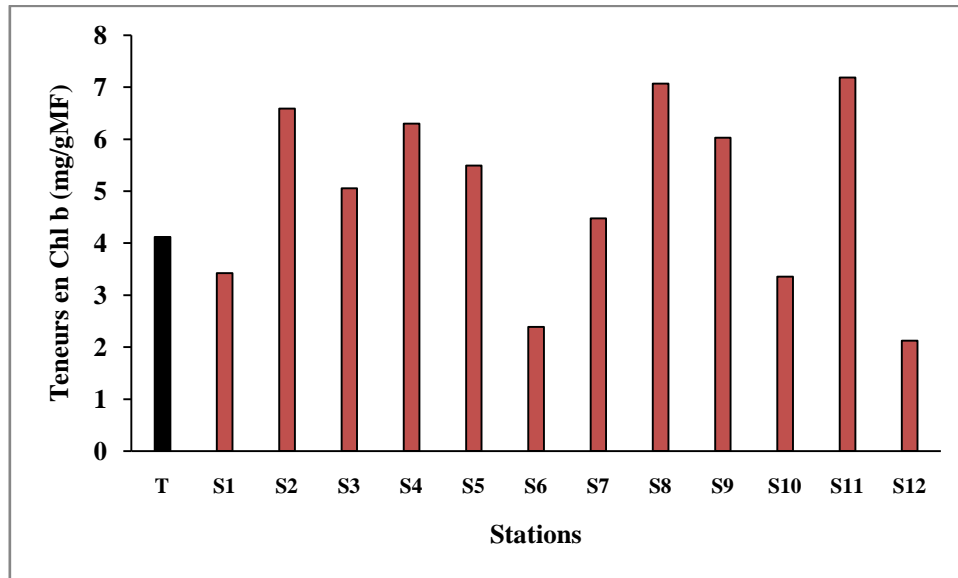


Figure IV.6 : variation de la teneur en chlorophylle (b) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

IV.1.4. Le rapport Chl (a)/Chl (b)

- *Acacia retinoides*

Le rapport chl(a)/chl (b) varie d'une station à l'autre (figure IV.7), et l'analyse de la variance pour un facteur est très hautement significatif ($Pr < 0,0001$). La valeur la plus élevée est enregistré en S6 et S12, avec respectivement de (2.19 mg/gMF) et (1.57 mg/gMF).

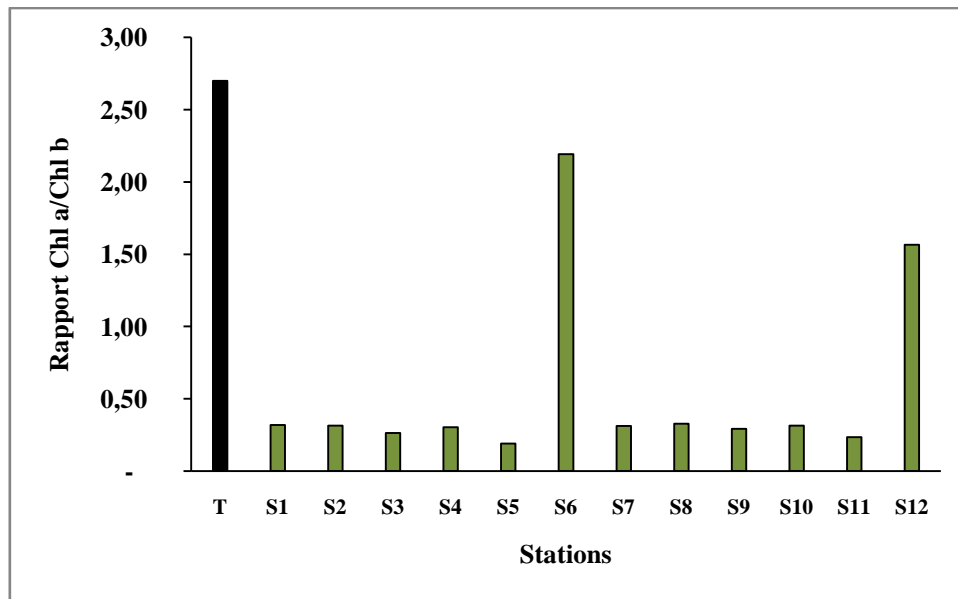


Figure IV.7 : variation du rapport de la Chl (a)/Chl (b) en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

- *Nerium oleander*

Le rapport Chl (a)/Chl(b) varie d'une station à l'autre, et le test de l'analyse de la variance montre qu'il existe une différence très hautement significative ($Pr < 0.0001$). Le rapport qui représente la valeur maximale est en S12 de 1.69 (figure IV.8). La valeur minimale est enregistrée en S11 (0.11).

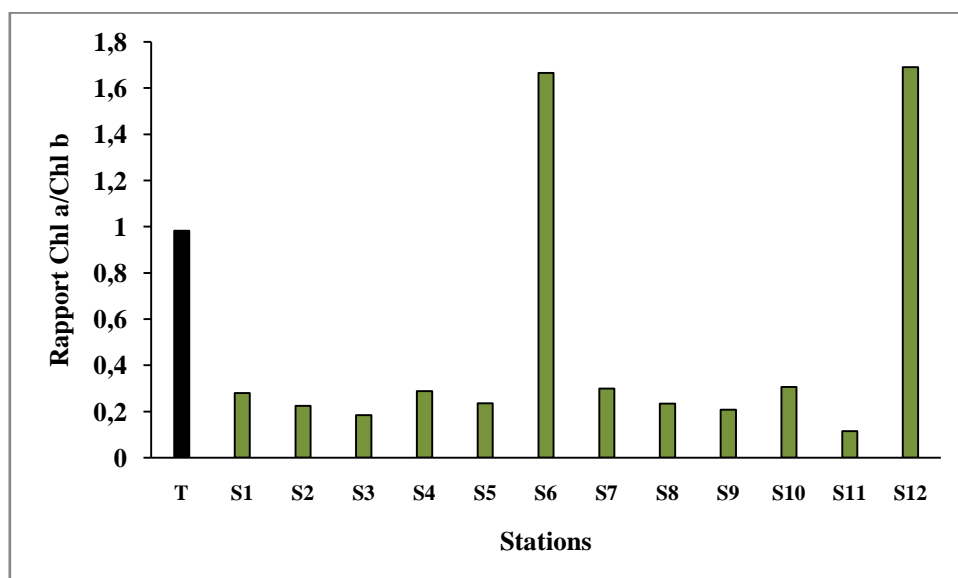


Figure IV.8 : variation du rapport Chl(a)/Chl(b) en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

IV.2. La proline

La proline, un acide aminé, joue un rôle très bénéfique chez les plantes exposées à diverses conditions de stress environnemental qui limite leurs croissances et leurs productivités à des degrés divers, selon la gravité. En plus elle peut d'agir comme un excellent osmolyte (Hayat *et al.*, 2012). L'accumulation de proline est une réponse physiologique courante chez de nombreuses plantes en réponse à un large éventail de stress biotiques et abiotiques. (Verbruggen et Hermans, 2008).

La proline s'accumule dans de nombreuses espèces végétales en réponse au stress environnemental, ce qui peut être essentiel pour la récupération des plantes après le stress. Bien que la régulation et la fonction de l'accumulation de proline ne soient pas encore comprises, du métabolisme de la proline pourrait conduire à de nouvelles opportunités pour améliorer la tolérance des plantes aux stress environnementaux (Szabados, L., & Savoure, 2010).

- *Acacia retinoides*

Les résultats de la teneur en proline chez *Acacia retinoides* illustrés dans la figure (IV.9) nous montrent une variation spatiale hautement significatif des stations sur l'accumulation de la proline ($P < 0,0001$). La valeur la plus élevée est enregistré en S8 et S11 respectivement de (54.11 mg/g MF) et (42.33 mg/g MF). La plus faible teneur en proline est enregistrée en S4 de (4.93 mg/g MF).

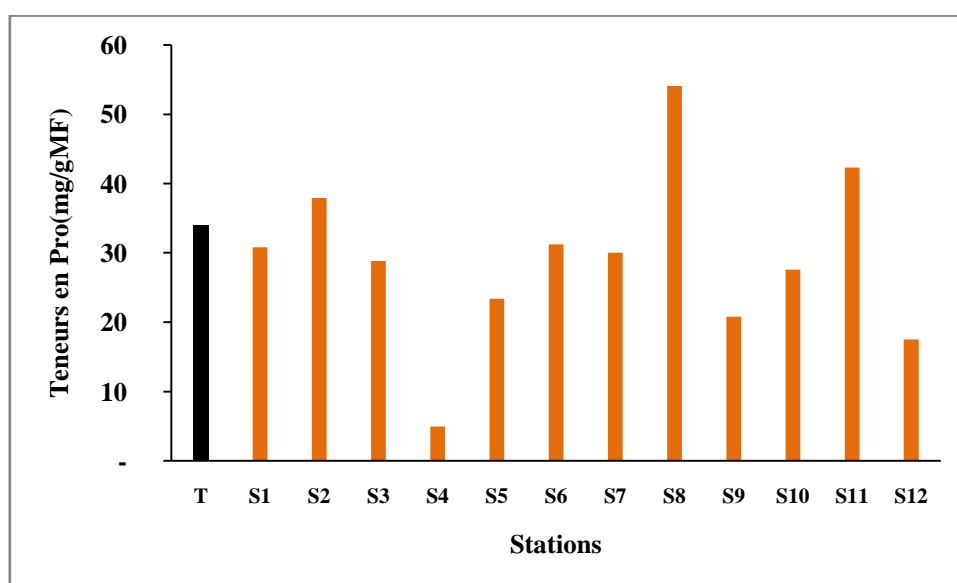


Figure IV.9 : Variation de proline en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

- *Nerium oleander*

Les variations spatiales des teneurs moyennes en proline de *Nerium oleander* des sites de prélèvements, représentées sous forme d'histogramme (figure IV.10), indique que la teneur la plus élevée est enregistrée en S7 et la plus faible (minimale) en S12 respectivement de (50.7 mg/gMF) et (1.02 mg/gMF).

L'analyse de la variance pour un critère de classification à révéler une différence très hautement significatif ($Pr < 0,0001$)

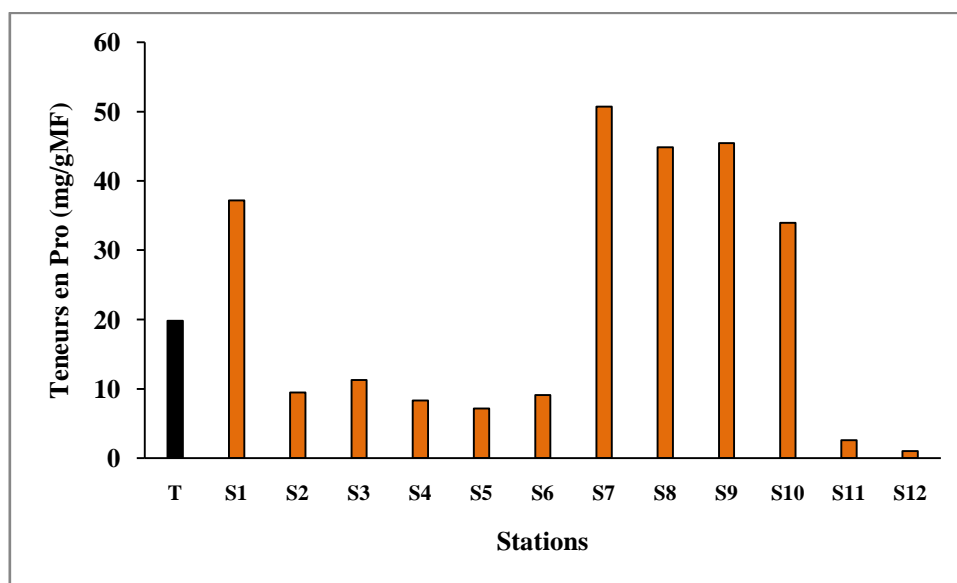


Figure IV.10: variation de proline en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

L'élévation de la teneur en proline au niveau des stations de prélèvements durant cette campagne d'échantillonnage est due à une contrainte environnementale. Cet acide aminé est synthétisée lorsque le végétale est en stress en appliquant par conséquent une perturbation de son métabolisme et notamment le métabolisme des acides aminés libres dont la proline constitue un marqueur de la résistance des plantes aux contraintes abiotiques (Delauney and Verma, 1993 cité par Dalaa., 2012, Bouchoukh., 2010).

IV.3. Sucres solubles

Les sucres sont les régulateurs les plus importants qui facilitent de nombreux processus physiologiques, tels que la photosynthèse, la germination des graines, la floraison, la sénescence. ils sont généralement libérés et stockés dans les cellules des organes végétatifs en réponse à diverses conditions environnementales défavorables. Cependant une modification quantitative du sucre perturbe tous les processus physiologiques d'une manière dépendante

de la concentration car Ils sont très sensibles aux stress environnementaux. (Sami *et al.*, 2016).

- *Acacia retinoides*

Les teneurs en sucres solubles chez *Acacia retinoides* (figure IV.11) montrent que celles-ci sont variables selon les stations de prélèvements. L'analyse de la variance met en évidence un effet très hautement significatif des stations sur l'accumulation des sucres solubles foliaires ($P < 0,0001$).

La valeur la plus élevée est affichée au niveau de la station S11 avec une valeur de l'ordre de (14.87 mg/g MF). Par contre les valeurs les plus faibles sont enregistrées en S2 (2.52mg/g MF).

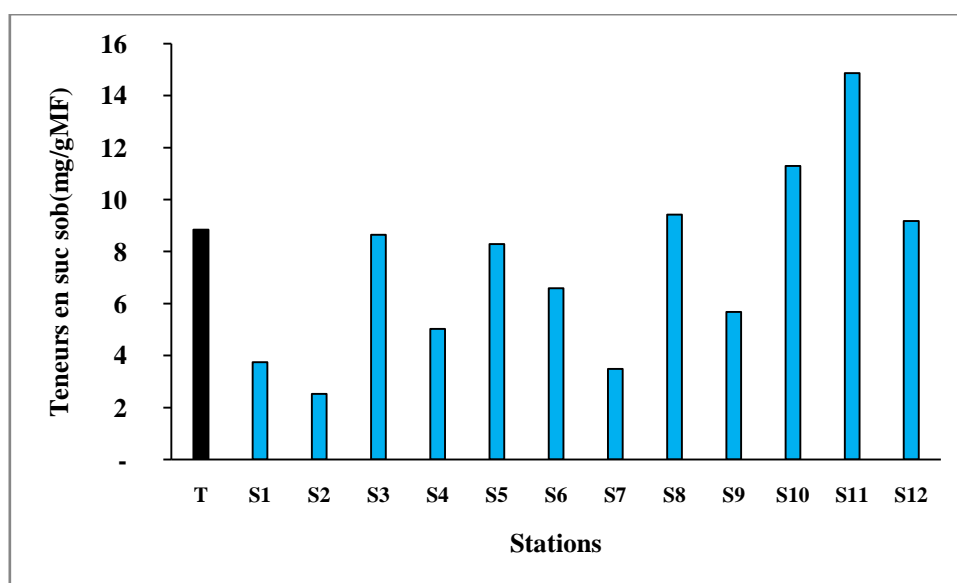


Figure IV.11: variation du des sucres solubles en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

- *Nerium oleander*

La teneur en sucre solubles pour *Nerium oleander* marque des variations spatiales bien distinctes. En effet on a enregistré les teneurs maximales de l'ordre de 40.99 mg/gMF (station S10) (Figure IV.12).

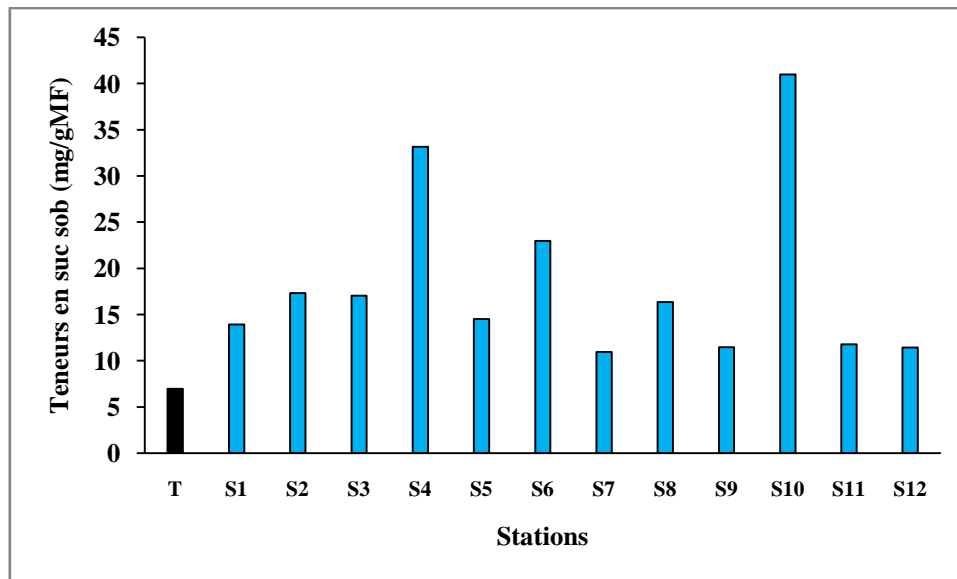


Figure IV.12 : variation des sucres solubles en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

Les sucres peuvent protéger les membranes et les protéines contre la déshydratation en incitant la formation d'une sorte de verre aux températures physiologiques (David et *al.*, 1998). Le saccharose peut agir en tant que composé soluble compatible et son accumulation peut permettre d'éviter la cristallisation des molécules contenues dans la cellule (Bouterraa M 2014). Elle limite donc les dommages au niveau des structures cellulaires (Williams et Leopold in Dubos, 2001) Ce type de tolérance permet à la plante d'assurer normalement ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique interne (De Raissac, 1992).

Les nombreux cas où sont décelées des accumulations de sucres ou de leurs dérivés alcools (mannitol, sorbitol...) s'accompagnent aussi de l'augmentation d'un des composés aminés (proline ou glycine-bétaïne (Levigneron, 1995).

Les teneurs en sucres solubles chez *Acacia cyanophylla* varient faiblement, cette espèce se comporte approximativement de la même manière en affichant des résultats faibles et rapprochés. Donc, cette espèce ne semble pas accumuler ces sucres comme métabolite de résistance au stress. Ou encore, ces très faibles teneurs peuvent nous renseigner que ce métabolite a pu servir, en se dégradant, de source disponible et rapide de carbone ou d'équivalents réducteurs au cours du stress (Blum and Ebercom, 1976 in Hellmann *et al.*, 2000).

IV.4. Quantité de Particules en suspensions (poussière)

- *Acacia retinoides*

La quantité de poussière extraite par les deux solutions de lavage (EDTA et Hcl) nous a permis d'obtenir des quantités qui varient d'une station à l'autre,

En effet, les quantités les plus élevées de poussières sont extraite par l'EDTA où on a enregistré un seuil de 0.19 mg/cm² dans la station de S9 (Figure IV.13).

La quantité de poussière extraite par la solution de Hcl est inférieure par rapport à celle extraite par la solution d'EDTA. Les valeurs les plus élevés sont enregistrés dans la station de S8 avec valeur de 0.019 mg/cm². Les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans la station 5 qui indique 0.0003 mg/cm² (Figure IV.14).

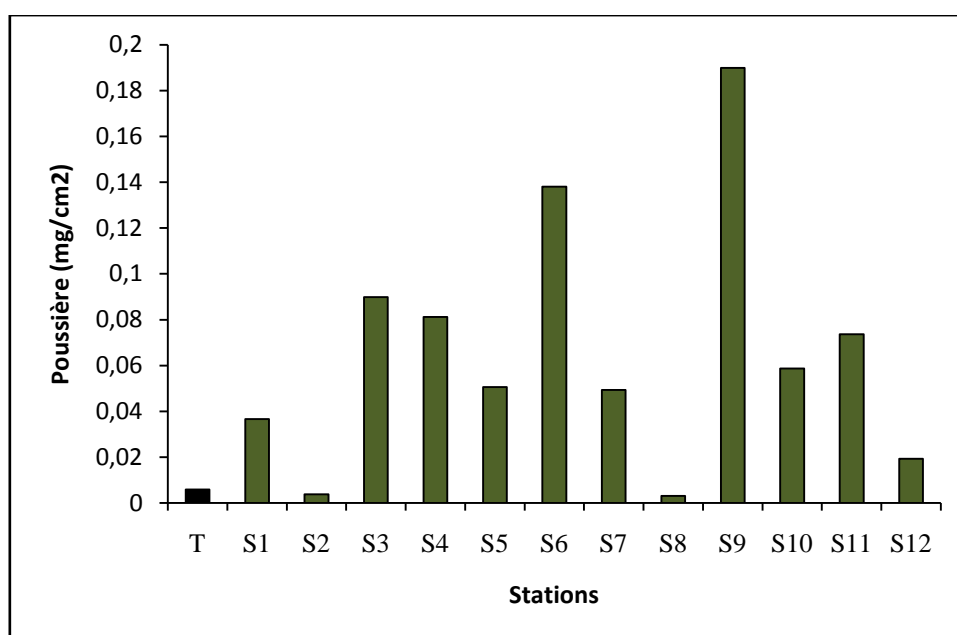


Figure IV.13 : variation des particules extraite par l'EDTA en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

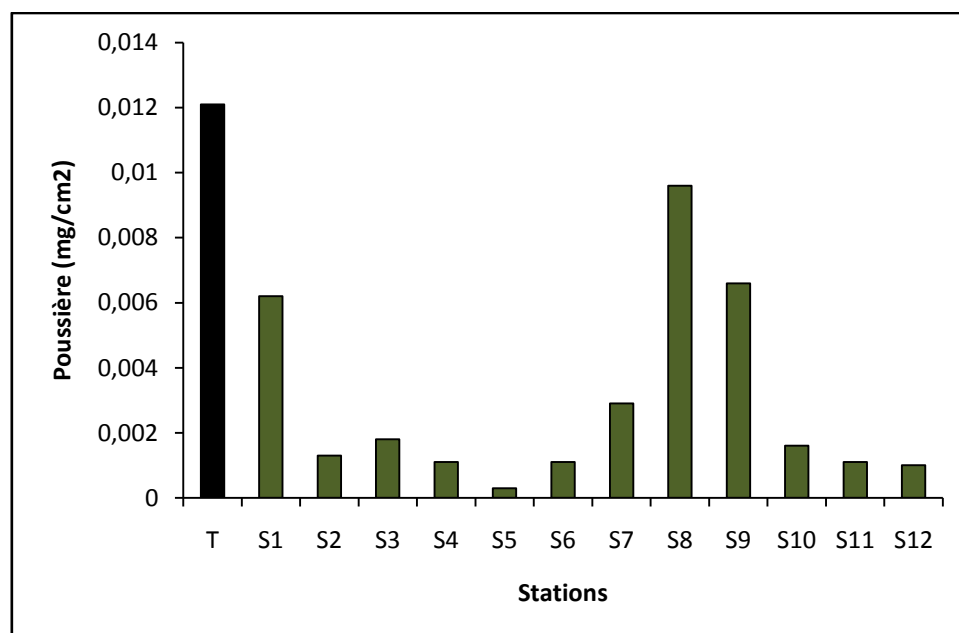


Figure IV.14 : variation des Particules en Suspension extraite par l'HCl en fonction des stations de prélèvement chez *Acacia retinoides*

L'analyse de la variance pour un critère de classification pour les deux solutions de lavage utilisées EDTA et HCl à révéler un effet station non significatif pour ce paramètre durant cette période de prélèvement.

Pour la solution EDTA, l'analyse de la variance est non significative soit du ($P= 0.862$) et Pour la solution de l'HCl, l'analyse de la variance est aussi non significative ($P= 0.919$).

- *Nerium oleander*

L'extraction de la poussière en utilisant les deux solutions (EDTA et HCl) nous a parmi d'obtenir des quantités qui varie selon les stations de prélèvement.

Les valeurs les plus élevées de poussière extraite par l'EDTA sont enregistré au niveau de la station S3 et S9 avec 0.03mg/cm^2 et 0.05mg/cm^2 respectivement (Figure IV.15).

Par opposition, la quantité de poussière extraite par la solution de l' HCl est plus ou moins faible en comparaison de l'EDTA. Effectivement la valeur maximale est enregistrée dans la station S7 (0.013mg/cm^2), et la quantité minimale est de l'ordre de 0.0002mg/cm^2 dans la station 10 (Figure IV.16).

► une étude faite au niveau de la cimenterie d'El Hamma sur la pollution atmosphérique (particulaire) à mie en évidence, l'importance du paramètre "chlorophylle" (Chl a, Chl b et Chl a/Chl b) pour la détection de l'état sanitaire du milieu, donc c'est un bon indicateur de la

pollution atmosphérique. La déposition de la poussière sur les feuilles peut interrompre l'activité photosynthétique chez *Pinus halepensis* (Dalaï, 2012).

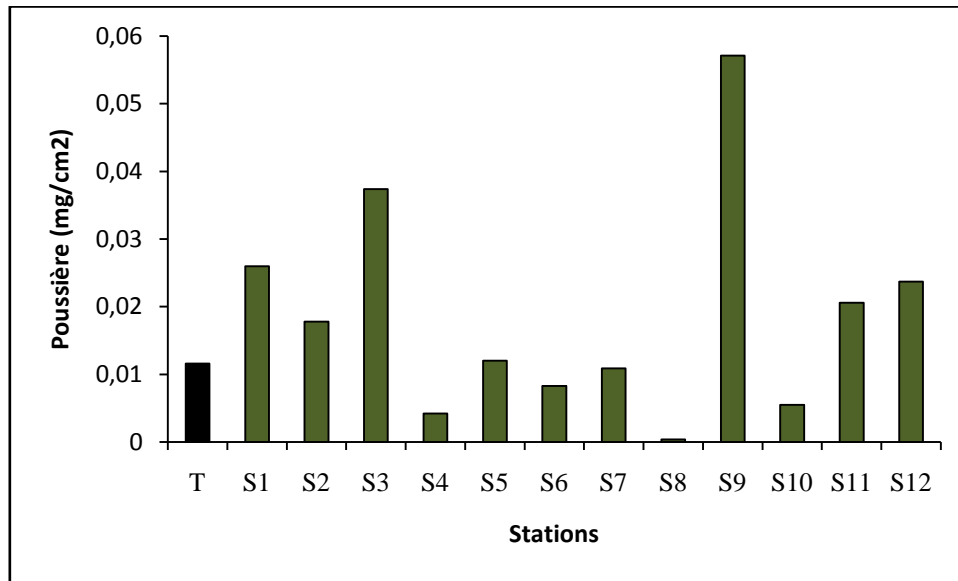


Figure IV.15 : variation des particules en Suspensions extraite par l'EDTA en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

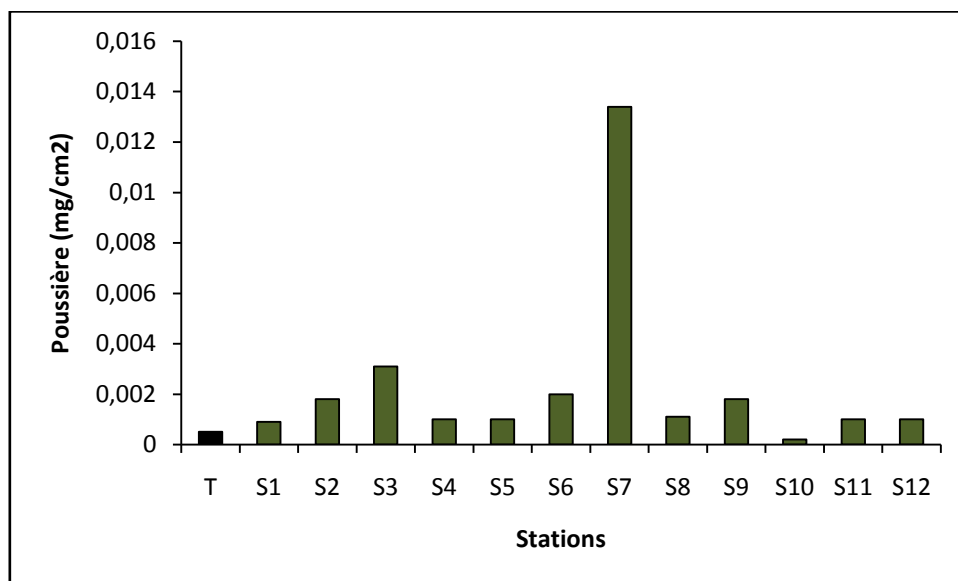


Figure IV.16 : Variation des Particules en Suspensions extraite par l'HCl en fonction des stations de prélèvement chez *Nerium oleander*

IV.5. Métaux lourds

A cause de la pandémie du corona virus, nous n'avons pas pu terminer nos analyses sur nos plantes en ce qui concerne les métaux lourds en utilisant nos plantes comme bio-indicateurs et les bioaccumulateurs. C'est pour cette raison on s'est référé à une étude réalisée récemment par Alatou et Sahli (2019) dans la ville de Constantine pas loin de l'autoroute Est-Ouest, dont le but était d'évaluer l'impact de la circulation automobile et infrastructure routière sur arbres. Cette étude est concentrée sur différents organes de deux espèces: une espèce à feuilles larges de la famille des Myrtacées (*Eucalyptus. cladocalyx F. Muell*) et un conifère de Famille des cupressacées (*C. sempervirens var. Fastifigiata*). L'objectif principal de cette étude était d'évaluer les concentrations du cadmium, cuivre, plomb et du zinc dans les feuilles lavées, les feuilles et écorces non lavées des deux espèces.

Ces deux espèces proviennent d'une zone reboisée (44 ans) par plantation graines récoltées en Algérie. Les deux espèces ont été sélectionnées en raison de leur forte dispersion dans la zone étudiée. Elles ont été collectées dans cinquante stations sélectionnées le long de la route nationale (RN03) caractérisée par un trafic intense reliant le centre de ville de Constantine et la commune d'El Hamma. En parallèle un témoin dans chaque espèce a été collecté dans une zone jugée non contaminée (zone de contrôle) loin du trafic routier (Draa Nega, Constantine), afin d'évaluer la relation entre l'intensité du trafic routier, le contenu en métaux lourds des arbres, et pour souligner l'utilité d'utiliser les arbres comme bio-indicateurs de la pollution métallique de l'air.

Les résultats statistiques des teneurs en métaux lourds pour les espèces sont résumés dans le tableau (IV.1). Les valeurs extrêmes et la moyenne \pm écart type du cadmium, du cuivre, du plomb et teneur en zinc pour les feuilles lavées (FL), les feuilles non lavées (FNL), les écorces (E) et le sol ont été mentionnés.

Les résultats de la zone urbaine ont montré que les métaux lourds quantifiés dans les feuilles lavées, les feuilles et l'écorce non lavées varient d'un organe à l'autre pour la même espèce et d'une espèce à une autre pour le même organe (tableau IV.1).

Tableau IV.1 Concentration des métaux lourds dans les différentes parties des espèces végétales (Alatou et Sahli 2019)

espèce	Partie de la plante	Cd	Cu	Pb	Zn
<i>E. cladocalyx</i>	FL	[0.19–0.95] 0.48 ± 0.33	[6.12–9.53] 7.92 ± 1.45	[6.67–10.00] 7.50 ± 1.67	[26.93–59.89] 43.58 ± 15.08
	FNL	[0.19–1.33] 0.57 ± 0.51	[5.89–8.74] 7.41 ± 1.23	[10.00–13.33] 10.83 ± 1.67	[35.64–61.01] 48.94 ± 11.89
	E	[0.19–1.14] 0.52 ± 0.42	[14.52–30.0] 21.86 ± 6.36	[13.33–33.33] 23.33 ± 8.61	[13.07–28.49] 23.77 ± 7.20
<i>C. fastigiata</i>	FL	[0.57–1.14] 0.81 ± 0.29	[5.58–10.23] 7.67 ± 1.92	[10.00–26.67] 14.17 ± 8.34	[24.58–44.92] 35.09 ± 10.54
	FNL	[0.95–1.52] 1.19 ± 0.29	[7.44–11.63] 9.30 ± 1.97	[13.33–33.33] 22.50 ± 10.68	[35.64–59.55] 47.60 ± 11.06
	E	[0.95–1.33] 1.09 ± 0.18	[10.23–19.53] 14.53 ± 3.86	[30.00–116.67] 63.33 ± 37.22	[25.92–74.19] 46.23 ± 22.08

IV.5.1.Cadmium

L'accumulation de cadmium par parties d'arbres était en ordre décroissant:

FNL > E > FL. Ainsi, pour *E. cladocalyx* F. Muell, ont enregistré une valeur moyenne d'environ 0,20 lg / g pour les feuilles lavées, 0,48 lg / g pour les feuilles non lavées et 0,52 lg / g pour l'écorce.

Les Feuilles non lavées de *C. sempervirens* var. *fastifiata* ont enregistré la valeur la plus élevée (1,19 lg / g) par rapport à l'écorce (1,09 lg / g) et des feuilles lavées (0,81 lg / g). La concentration naturelle du cadmium pour les plantes terrestres varie de 0,2 à 2,4 lg / g (Oliva et Rautio 2005). Les résultats ont montré que l'accumulation du Cd au-dessus des niveaux de pollution sans dépasser le niveau extrême.

Dans la ville d'Ibadan, au Nigéria, Ejidike et Onianwa (2015) ont enregistré une concentration de 0,10 mg / kg ou cadmium dans l'écorce des arbres de 65 sites ayant différentes activités anthropiques.

Astier et coll. (2014) en étudiant la phytoremediation d'un cadmium des sols contaminé des jeunes sapins de Douglas ont observé des niveaux élevés de Cd dans le bois et surtout dans les écorces qui avaient le plus haut Cd contenu parmi les parties aériennes (68 mg / kg de Cd).

Pour Cicek et Koparal (2004), la concentration du cadmium variait de 0,1 à 2,73 mg / kg dans les feuilles d'arbre prélevées dans la province de Kutahya (Turquie).

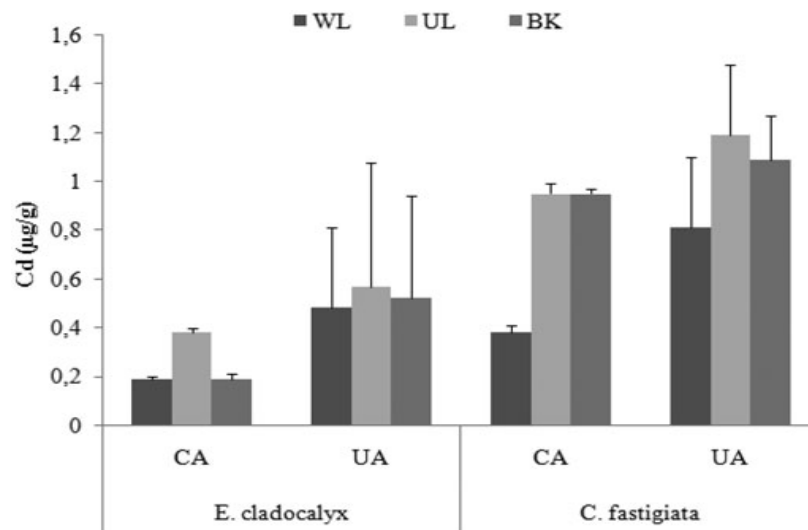


Figure IV.17 : Concentration du cadmium dans les feuilles et l'écorce des arbres étudiés collectés des zones urbaines et de contrôle (Alatou et Sahli 2019)

IV.5.2. Cuivre

Les concentrations de cuivre ont suivis l'ordre suivant:

E> FL>FNL pour *E. cladocalyx* F. Muell et E>FNL>FL pour *C. sempervirens* var. *fastigiata*. Ainsi, pour *E. cladocalyx* F. Muell, la plus faible concentration a été enregistrée pour les feuilles non lavées avec une moyenne de (7,41 lg / g) par rapport à ceux lavés qui accumulent plus de Cu avec une moyenne de (7,92 lg / g).

Par rapport aux feuilles, l'écorce accumule encore plus de cuivre (21,86 lg / g). Pour *C. sempervirens* var. *Fastigiata*, la valeur maximale (14,53lg / g) a été enregistrée pour l'écorce par rapport aux feuilles non lavées (9,30 lg / g) et lavées feuilles (7,67 lg / g) respectivement. Dans la nature, la valeur normale des concentrations du Cu dans les plantes est de 3 à 30 mg / kg (Kabata et Pendias 2001), mais sa gamme de concentrations phytotoxiques est 20 à 100 mg / kg (Padmavathiamma et Li 2007).

Dans cette étude, les concentrations mesurées n'ont jamais dépassé valeur des concentrations normales de gamme quel que soit l'organe et les espèces.

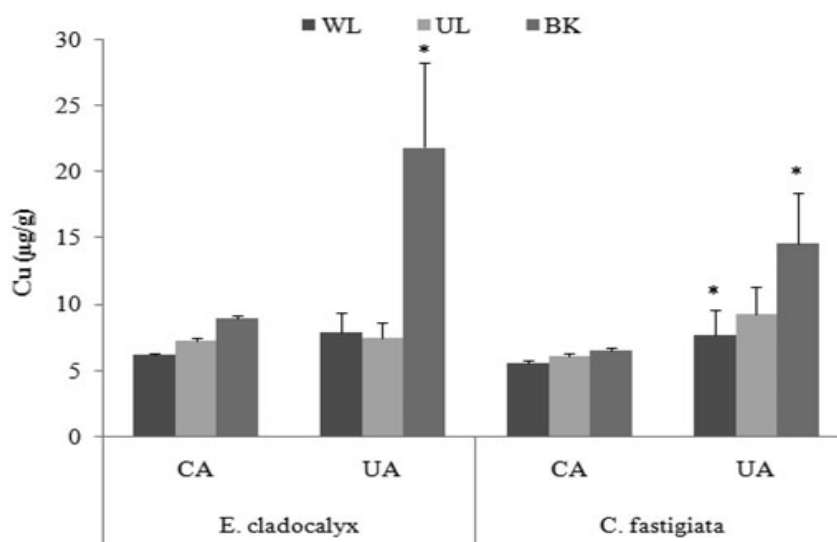


Figure IV.18 : Concentration du cuivre dans les feuilles et l'écorce des arbres étudiés collectés des zones urbaines et de contrôle (Alatou et Sahli 2019)

Ejidike et Onianwa (2015) ont enregistré une concentration de 7,29 mg / kg de cuivre dans l'écorce des arbres de 65 sites avec différentes activités anthropiques, alors que El-Hasan et coll. (2002) ont enregistré une concentration de cuivre d'environ 1,5 à 82,7 mg / kg dans les écorces de *C. sempervirens var. fastigiata*. Cicek et Koparal (2004) ont enregistré 2,1–59 pour le Cu dans les feuilles des arbres. La plupart des espèces végétales peuvent accumuler des niveaux de cuivre dans des conditions naturelles et anthropiques (Serbula et al.2012).

IV.5.3.Plomb

Pour le plomb, les concentrations étaient dans l'ordre décroissant suivant : E>FNL>FL. Ainsi, pour *E. cladocalyx F. Muell*, la plus basse concentration a été enregistrée pour les feuilles lavées avec une moyenne de (7,50 lg / g) par rapport aux non lavés qui accumulait plus avec une moyenne de (10,83 lg / g) et de l'écorce avec une moyenne de (23,33 lg / g). Pour *C. sempervirens var. fastifiata*, la valeur maximale (63,33 lg / g) a également été enregistrée pour l'écorce par rapport aux feuilles non lavées (22,50 lg / g) et feuilles lavées (14,17 lg / g) respectivement (Figure IV.19).

Les teneurs en plomb des plantes sont généralement inférieures à 10 mg / g (Markert 1992; Allen 1989; Brooks 1998; Kabata et Pendias 2001; Padmavathiamma et Li 2007; Hu et coll ,2014). En outre, selon Kabata-Pendias et Pendias(2001), la concentration normale de Pb dans les plantes peut être de la gamme de 5–10 mg / g et son niveau toxique est de 30 à300 mg / g. Alors que Markert (1994) a signalé la gamme de Pb toxique pour les

plantes entre 3 et 20 mg / g. Dans la présente étude, les concentrations mesurées dépassaient le niveau naturel quel que soit l'organe et l'espèce.

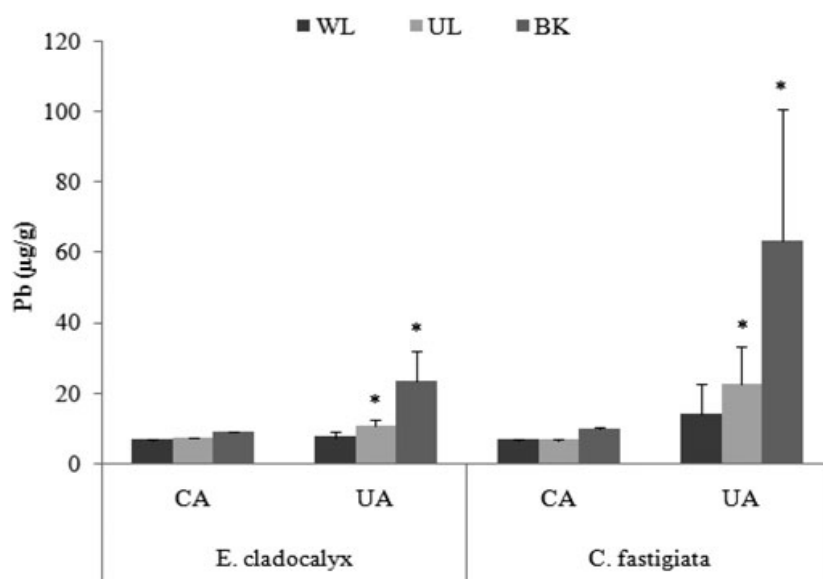


Figure IV.19 : Concentration du plomb dans les feuilles et l'écorce des arbres étudiés collectés des zones urbaines et de contrôle (Alatou et Sahli 2019)

Zhao et coll. (2014) ont enregistré une concentration plus élevée plus de 50 mg / kg de plomb dans les feuilles de plantes ligneuses sauvages poussant naturellement dans le Hunan (Chine). De plus, Matin et al. (2016) ont rapporté une concentration de plomb de 35 à 52 mg / kg lorsque surveillance du Cd, Pb, Ar et Hg chez les abeilles mellifères, la propolis et feuilles de pin dans une zone industrielle à Izmir (Turquie).

IV.5.4.Zinc

Les contenus en zinc ont enregistré les séquences suivantes:

FNL>FL>E pour *E. cladocalyx* F. Muell. La concentration la plus élevée a été enregistré pour les feuilles non lavées (48,94 lg / g) par rapport aux lavées (43,58 lg / g) et à l'écorce (23,77 lg / g).

Pour *C. sempervirens* var. *fastigiata*, les concentrations étaient en ordre décroissant: FNL (47, 60 lg / g)>E (46, 23 lg / g)>FL (35,09 lg / g).

La concentration normale de Zn chez les plantes se situe entre 10 et 150 mg / kg (Markert1992; Padmavathiamma et Li 2007; Hu et coll. 2014). Le niveau toxique critique de Zn dans les feuilles est d'environ 100 ppm (Allen et al.1974; Yilmaz et Zengin 2004). Dans la présente étude, aucune des espèces étudiées n'a de concentration en Zn en dehors de la plage normale et toxique quelle que soit la partie d'arbre.

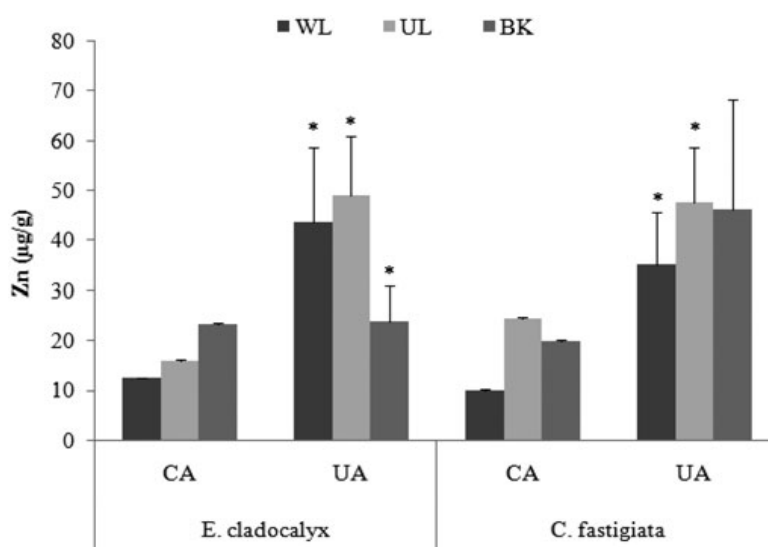


Figure IV.20 : Concentration du zinc dans les feuilles et l'écorce des arbres étudiés collectés des zones urbaines et de contrôle (Alatou et Sahli 2019)

Ejidike et Onianwa (2015) ont enregistré une concentration de 30,96 mg / kg de zinc dans l'écorce des arbres et Cicek et Koparal(2004) ont enregistré 1,7 à 222,4 mg / kg de Zn dans les feuilles des arbres.

Ces résultats confirment que la teneur en métal dépend des espèces et des parties de la plante, et leur durée de vie. *E. cladocalyx* F. Muell et *C. sempervirens var. fastigiata* s'est avéré être un bon bioindicateur de la pollution métallique de l'air. Pour les deux espèces, Cd et Zn sont les éléments les plus prononcés et détectés par les feuilles, tandis que le Cu et le Pb sont le plus détectés par les écorces. Les feuilles non lavées contiennent des métaux lourds plus élevés que ceux des feuilles lavées. La concentration de métaux lourds dans l'écorce réagit rapidement à changements marqués des concentrations atmosphériques.

Un autre facteur est à considérer qui détermine l'absorption des métaux lourds et la bioaccumulation dans l'écorce est la translocation depuis la racine. Ainsi, les niveaux élevés de plomb et de cuivre dans l'écorce des deux espèces peuvent être attribuées à un double contribution, atmosphérique, et édaphique. Sinon, les interactions Cu – Cd sont signalé comme antagoniste et synergique dans l'élément absorption par les racines. Selon ces résultats, faible teneur en cadmium des écorces de la plante étudiée est probablement dû à un antagonisme effet de Cu (Alatou et Sahli 2019).

La variation de la concentration en métaux lourds entre les zones urbaines et de contrôle (Draa Naga) est due à un volume de trafic important et les activités d'industrialisation. Cependant, les émissions de trafic peuvent être la principale source de

pollution métallique dans l'atmosphère de zone urbaine. Dans cette étude, les feuilles non lavées contiennent des métaux lourds plus élevés que ceux des feuilles lavées.

CONCLUSION GENERALE
ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le but de notre travail est basé essentiellement sur l'évaluation de la pollution atmosphérique qui représente aujourd'hui un facteur majeur de dégradation de l'environnement et qui affecte l'ensemble de la planète. En effet, la biosurveillance est une approche nécessaire pour l'identification des polluants atmosphériques lorsqu'une altération environnementale.

Dans ce cadre, nous avons réalisé une stratégie d'échantillonnage effectuée en douze stations le long de l'autoroute Est-Ouest dans la wilaya de Constantine. Elle consiste à utiliser deux types d'espèces qui sont l'Acacia des quatre saisons (*Acacia retinoïdes*) et le laurier rose (*Nerium oleander*).

La pollution atmosphérique cause un stress entraînant aux perturbations des caractéristiques physiologiques du végétal touché, c'est pour cette on s'est focalisé au cours de cette étude sur le suivie de l'état physiologiques à travers la mesure des variations quantitatives des déférents paramètres qui sont principalement la teneur en chlorophylle (a ,b et a+b), la proline et les sucres solubles .

Les résultats obtenus montrent que :

Les polluants atmosphériques peuvent pénétrer majoritairement dans les feuilles. En effet ils résultent des changements qui se diffèrent d'une station à l'autre.

La teneur en Chlorophylle totale est plus élevée chez *Acacia retinoides* avec une moyenne maximum de (21.4 mg/g MF), par rapport au *Nerium oleander* qui n'a pas dépassé 10.72 mg/g MF.

Pour la proline et les sucres solubles nous avons constaté une forte accumulation chez les deux espèces.

Par ailleurs, la quantification des particules en suspension accumulées à la surface foliaire par les deux solutions de lavage (EDTA et HCl) indique que La quantité de poussière extraite par la solution de HCL est inférieure par apport à celle extraite par la solution d'EDTA chez les deux espèces.

Chez *Acacia retinoides* nous avons remarqué une valeur maximum de 0.19 mg/cm² Pour l'EDTA et 0.019 mg/cm² Pour l'HCL.

Chez *Nerium oleander* nous avons enregistré une valeur maximum de l'ordre de 0.05mg/cm²Pour l'EDTA et 0.013 mg/cm² Pour l'HCL.

Au terme de ce travail qui a traité le sujet de la pollution atmosphérique dans la région de Constantine, nous pouvons conclure que le secteur du transport accentue ce phénomène qui exerce à son tour des effets négatifs sur les paramètres physiologiques des végétaux. Ainsi que, la biosurveillance reste une méthode d'évaluation très utile, simple et moins coûteuse pour faire face à ce danger.

Pour les prochaines recherches nous proposons les perspectives suivantes :

- Tester ces plantes bioindicatrices pour étudier autres types de pollution ;
- Utiliser d'autres espèces ou d'autres organes des plantes ;
- Augmenter le nombre des campagnes de prélèvement et les stations ;
- Quantifier les teneurs en métaux lourds ;
- Etudier autres paramètres biologiques.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Abdeldjouad, M. (2014). Impact de la morphologie du bâtiment sur la dispersion des polluants atmosphériques Cas d'étude: ville d'Annaba. Mémoire de Magister : Architecture, forme, ambiances, et développement durable. Biskra : Université Mohamed Khider Biskra, 53 p.

Achour, Y. (2017). Cartographie des zones à risque de glissements de terrain au voisinage de l'autoroute Est /Ouest (Algérie) dans sa partie Est entre Constantine et Azzaba et estimation des risques associés. Thèse de doctorat : Géologie. Annaba : Université de Badji Mokhtar-Annaba, 62 p.

ADJIM, H. (2018). contribution a l'étude des phénomènes hydrologiques–cas de la sécheresse (Application au bassin du barrage Hammam Boughrara). Thèse de doctorat : Hydraulique. Tlemcen : Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen, 4 p.

Al Barakeh, Z. (2012). Suivi de pollution atmosphérique par système multi-capteurs–méthode mixte de classification et de détermination d'un indice de pollution. Thèse de doctorat, Saint-Etienne, EMSE, 11 p.

Alatou, H., & Sahli, L. (2019). Using tree leaves and barks collected from contaminated and uncontaminated areas as indicators of air metallic pollution. *International journal of phytoremediation*, 21(10), 985-997.

Allag, F. (2018). Contribution à l'étude de la dispersion des polluants. Thèse de doctorat. Sétif : Université Ferhat Abbas Sétif-1, 2-3 p.

Allen, S. E., Grimshaw, H. M., Parkinson, J. A., & Quarmby, C. (1974). *Chemical analysis of ecological materials*. Blackwell Scientific Publications.

Allen, S.E., Ed. (1989) *Chemical Analysis of Ecological Materials*. 2nd Edition, Blackwell Scientific Publications, Oxford and London.

AOUISSI, N. (2011). Impact de la pollution atmosphérique générée par le transport sur la sante publique, un essai écotoxicologique sur le blé dur (*triticum durum*, desf) cas de la région de Annaba. Mémoire de magistère. Annaba : Université BADJI MOKHTAR – ANNABA, 18 ,19-20

p.

Astier, C., Gloaguen, V., & Faugeron, C. (2014). Phytoremediation of cadmium-contaminated soils by young douglas fir trees: effects of cadmium exposure on cell wall composition. *International journal of phytoremediation*, 16(7-8), 790-803.

Barkat, H. (2018). Analyse des groupements Herpétologiques dans les Hautes Plaines Sétifiennes (cas de la région de Beni Aziz). Mémoire de Magistère : Biologie animale. Sétif : Université Ferhat Abbas Sétif 1, 11 p.

Bebba, D., & Ben Derouiche, N. (2007). Détection de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures à l'aide d'un bioindicateur lichénique (*Xanthoria parietina*) et quelques végétaux supérieurs comme bio-accumulateur (*Casuarina equisetifolia* et *Phoenix dactylifera*) dans la région de Hassi Messaoud. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en biologie, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 1-85 p.

BELHADJ, H. (2015). Détection de la pollution atmosphérique à l'aide du lichen *Xanthoria parietina* (L.) bio-accumulateur d'éléments traces métalliques dans le centre urbain de la ville de Sidi Bel Abbés (Algérie occidentale). Thèse de doctorat : Sciences. Sidi Bel Abbes : Université Djillali Liabes de sidi bel Abbes, 15-1 p.

Benabadji, N., & Bouazza, M. (2000). Quelques modifications climatiques intervenues dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie-occidentale). *Rev. Energ. Ren*, 3, 117-125.

BENGOUGA, K. (2010). Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides. Thèse de doctorat. Biskra : Université Mohamed Khider Biskra, 47-48 p.

Berrayah, M., Maatoug, M., Azzaoui, M., Oumou, D., Alimata, S., & Hadjar, M. K. (2016). Biosurveillance De La Qualité De L'air D'un Milieu Urbain Par Des Mousses Et Des Lichens. Cas De La Ville De Tlemcen (Algérie). *European Scientific Journal*, 12(9).

Bouchoukh I. (2010). Comportement écophysiological de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin, 112p.

Bouedja, F. (2018). Tectonique actuelle et récente et risque sismique de la région de Constantine.

Mémoire de Magister : Sismologie. Sétif : Université Ferhat Abbas-Sétif, 3-23 p.

Boulaouidat, H. (2017). Caractérisation, structure et évolution de l'aquifère carbonate du Boumerzoug (CONSTANTINE). Mémoire de Magister : Hydrologie. Constantine : Université de constantine 1, 14 p.

BOUSIGA, F., & BERBAR, N. (2018). Utilisation des lichens et des végétaux supérieures (*Petunia hybrida*) pour la Bioindication de la qualité de l'air à Bouira. Mémoire de Master. Université Akli Mohand Oijlhadj – Bouira, 1 p.

Boussouara, K. (2010). Etude des missions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs à combustion interne. Thèse de doctorat : Génie mécanique. Constantine : Université de Constantine, 42 p.

Bouterraa, M. (2014). Utilisation des végétaux pour l'évaluation de la pollution atmosphérique le long de l'autoroute Est-Ouest dans la région de Constantine. Mémoire de magistère : Ecologie et Environnement. Constantine : Université Constantine 1, 57-68 ,102 p.

Brooks, R. R. (1998). Geobotany and hyperaccumulators. *Plant That Hyperaccumulate Heavy Metals*, 55-94.

Charpin, D., Pairon, J. C., Annesi-Maesano, I., Caillaud, D., De Blay, F., Dixsaut, G., ... & Delaval, P. (2016). La pollution atmosphérique et ses effets sur la santé respiratoire. Document d'experts du groupe pathologies pulmonaires professionnelles environnementales et iatrogéniques (PAPPEI) de la Société de pneumologie de langue française (SPLF)[Outdoor pollution and its effects on lung health. Expert document from the groupe pathologies pulmonaires professionnelles environnementales et iatrogéniques (PAPPEI) of the Société de pneumologie de langue française (SPLF)]. *Revue des Maladies Respiratoires*, 33(6), 484-508.

Cicek, A., & Kopalal, A. S. (2004). Accumulation of sulfur and heavy metals in soil and tree leaves sampled from the surroundings of Tuncbilek Thermal Power Plant. *Chemosphere*, 57(8), 1031-1036.

David M. M., Coelho D., Bannote I., et Coreirra M. J. (1998). Leaf age effects on photosynthetic activity and sugar accumulation in droughted and rewatered *Lupinus albus* plants. *Aust J. Physiol*, 25,299-3096.

Dellaa Y, 2003. Utilisation des végétaux dans l'approche écotoxicologique de la pollution atmosphérique de Constantine, Mémoire de Magister.44-49p-et 50 -57p.

Derouiche, A. (2008). Contribution de la géophysique et de la photo-interprétation à l'étude de l'instabilité de terrains dans la région de Constantine. Mémoire de Magister : Les Ressources en Eau et Environnement. Constantine : Université Mentouri de constantine, 14 p.

Dron, J., Austruy, A., Agnan, Y., Ratier, A., & Chamaret, P. (2016). Utilisation de la biosurveillance lichénique sur la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer: retour sur trois ans de suivi à l'échelle d'un territoire intercommunal. 2268-3798.

Dubos C. (2001). Réponse moléculaires de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de Doctorat de Henri Poincaré. Nancy- I en biologie forestière, 202p.

Durand, B. (2014). Les risques de la pollution atmosphérique pour la mortalité prématurée. Comparaison avec ceux du tabac et ceux de la radioactivité, 4-5 p.

Ejidike, I. P., & Onianwa, P. C. (2015). Assessment of trace metals concentration in tree barks as indicator of atmospheric pollution within Ibadan City, South-West, Nigeria. *Journal of analytical methods in chemistry*, 2015.

El-Hasan, T., Al-Omari, H., Jiries, A., & Al-Nasir, F. (2002). Cypress tree (*Cupressus semervirens* L.) bark as an indicator for heavy metal pollution in the atmosphere of Amman City, Jordan. *Environment International*, 28(6), 513-519.

Ernez M. Lannoye R. (1991). Quantification des désordres photosynthétiques chez la plante stressée : aspects conceptuels et méthodologiques, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, 9-23.

Fontana, M., & Wüthrich, B. (2019, August). Pollution atmosphérique, climat et allergies. In *Forum Médical Suisse* (Vol. 19, No. 3536, pp. 580-583). EMH Media.

Foray, J. P. (2014). Législation et réglementation nationales, européennes et internationales. 2268-3798.

Journal officiel de la République Algérienne démocratique et populaire. (2003). la loi n ° 03/10

relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, N° 43,06 p.

Journal officiel de la République Algérienne démocratique et populaire. (2006). Décret exécutif n° 06-02 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique. N°01, 3-4 p.

Hache, E. (2014). Apport de la bande de Chappuis pour la mesure de l'ozone depuis un satellite géostationnaire pour la surveillance de la qualité de l'air. Thèse de doctorat. Toulouse : Université de Toulouse III-Paul Sabatier, 31-41p.

Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: a review. *Plant signaling & behavior*, 7(11), 1456-1466.

Hu, Y., Wang, D., Wei, L., Zhang, X., & Song, B. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in plant leaves from Yan' an city of the Loess Plateau, China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 110, 82-88.

Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants, 3rd edn CRC Press. Boca Raton, FL, USA.

Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, 151(2), 362-367.

Khechana, S. (2014). Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyper-aride. Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien). Thèse de doctorat : Hydrogéologie. Annaba : Université Badji Mokhtar Annaba, 28 p.

Koffi, N. A., Barima, Y. S., Angaman, D. M., & Dongui, B. K. (2014). Les caractéristiques des stomates des feuilles de *Ficus benjamina* L. comme bioindicateurs potentiels de la qualité de l'air dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 78, 6675-6684.

Kurteva, M. (2008). Bioindication ability of tree and shrub species under industrial environmental pollution. *Natura Montenegrina*, 7(2), 485-503.

Laala, A. (2009). Comportement des semis de Pin d'Alep sous contraintes thermiques. Mémoire de Magistère : Biologie Végétale. Constantine : université Mentouri constantine, 34 p.

Lacour, S. (2001). Cours de pollution atmosphérique. *Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*,

Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement Atmosphérique France, 13-14, 19-20 p.

Levigneron A, Lopez, Vansuyt G Berthomieu, Fourcroy P et Casse-Delbart F. (1995). Les plantes face au stress salin. Cahier Agriculture, 4, 263-73.

Mallet, V. (2005). Estimation de l'incertitude et prévision d'ensemble avec un modèle de chimie transport-Application à la simulation numérique de la qualité de l'air. Thèse de doctorat : mathématiques et informatique, Ecole nationale des ponts et chaussées, 19 p.

Messous, N. (2013). Caractérisation de l'état du milieu et évaluation numérique de la vulnérabilité à la désertification par les outils de la géomatique. Mémoire de Magistère : Aménagement De Territoire. Batna : Université El Hadj Lakhdar –Batna, 41 p.

Markert, B. (1992). Establishing of 'Reference characterization plant' for inorganic of different chemical plant species by finger printing. *Water Air Soil Pollut*, 64, 533-538.

Matin, G., Kargar, N., & Buyukisik, H. B. (2016). Bio-monitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering*, 90, 331-335.

Oliva, S. R., & Rautio, P. (2005). Spatiotemporal patterns in foliar element concentrations in *Ficus microcarpa* L. f. growing in an urban area: implications for biomonitoring studies. *Ecological Indicators*, 5(2), 97-107.

Padmavathiamma, P. K., & Li, L. Y. (2007). Phytoremediation technology: hyper-accumulation metals in plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 184(1-4), 105-126.

OMM, (2011). « Guide des pratiques climatologiques », OMM N°100, UNESCO, Rapport de synthèse N°1119, ISBN 978-92-63- 20100-3

Rahal, F. (2015). Modélisation et simulation de la pollution atmosphérique. Le cas de la région d'Alger. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Oran, 28-29 p.

Ramade, F. (2000). *Dictionnaire encyclopédique des populations: les polluants: de l'environnement à l'homme*. Ediscience international, Paris, 13, 33-424 p.

- Ramade, F. (2005). *Éléments d'écologie: cours. Écologie appliquée*. 6ème édition. Dunod
- Rebouh, S., & Ribouh, B. (2018). Développement durable face à l'évolution de l'impact polluant de la ville de Hamma Bouziane. *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*, 119-129.
- Ronneau, C. (2013). *Énergie, pollution de l'air et développement durable*. Presses univ. de Louvain.
- Sami, F., Yusuf, M., Faizan, M., Faraz, A., & Hayat, S. (2016). Role of sugars under abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109, 54-61.
- Serbula, S. M., Miljkovic, D. D., Kovacevic, R. M., & Ilic, A. A. (2012). Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 76, 209-214.
- Shibghatallah, M. A. H., Khotimah, S. N., Suhandono, S., Viridi, S., & Kesuma, T. (2013, September). Measuring leaf chlorophyll concentration from its color: A way in monitoring environment change to plantations. In *AIP conference proceedings* (Vol. 1554, No. 1, pp. 210-213). American Institute of Physics.
- Szabados, L., & Savoure, A. (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in plant science*, 15(2), 89-97.
- Thripathi A.K. et Tripathi S. (1999). Change in some physiological and biochemical characters in Albizia lebbek as bioindicateurs of heavy metal toxicity. *J. Environ. Biol.*, 20 (2): 93-98.
- Tuddenham, M. (2013). Dates marquantes dans l'histoire de la pollution atmosphérique. 2268-3798.
- Van Halluwyn, C., Cuny, D., & Garrec, J. P. (2011). INTRODUCTION GÉNÉRALE- Définitions, concepts et enjeux généraux de la biosurveillance de la qualité de l'air. *Pollution Atmosphérique*, 3, 7.
- Verbruggen, N., & Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Amino acids*, 35(4), 753-759.

Voinov Kohler, J. N. (2006). *Le mécanisme de contrôle du respect du Protocole de Kyoto sur les changements climatiques: entre diplomatie et droit*. Schulthess.

Vila, J. M. (1980). La chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse de Doctorat-es-sciences, Université Pierre et Marie curie, 665P.

Yilmaz, S., & Zengin, M. (2004). Monitoring environmental pollution in Erzurum by chemical analysis of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Environment International*, 29(8), 1041-1047.

Zenta, K. (2008). La pollution urbaine dans la wilaya d'Oran. Thèse de Doctorat : Environnement et climatologie. Oran : Université d'Oran, 28-29 p.

Zhao X, Liu J, Xia X, Chu J, Wei Y, Shi S, Chang E, Yin W, Jiang Z. 2014. The evaluation of heavy metal accumulation and application of a comprehensive bioconcentration index for woody species on contaminated sites in Hunan, China. *Environ Sci Pollut Res*. 21(7): 5076–5085.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : Loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424

Correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

Art. 44. — Constitue une pollution atmosphérique au sens de la présente loi, l'introduction, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances de nature à

- mettre en danger la santé humaine ;
- influer sur les changements climatiques ou appauvrir la couche d'ozone ;
- nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes ;
- compromettre la sécurité publique ;
- incommoder la population ;
- provoquer des nuisances olfactives ;
- nuire à la production agricole et aux produits agro-alimentaires ;
- altérer les constructions et porter atteinte au caractère des sites ;
- détériorer les biens matériels.

Art. 45. — Les immeubles, les établissements industriels, commerciaux, artisanaux ou agricoles ainsi que les véhicules ou autres objets mobiliers sont construits, exploités ou utilisés selon les exigences de protéger l'environnement, d'éviter et de réduire les pollutions atmosphériques.

Art. 46. — Lorsque les émissions polluantes de l'atmosphère constituent une menace pour les personnes, l'environnement ou les biens, leurs auteurs doivent mettre en œuvre toutes dispositions nécessaires pour les supprimer ou les réduire.

Les unités industrielles doivent prendre toutes les dispositions nécessaires visant à réduire ou éliminer l'utilisation des substances provoquant l'appauvrissement de la couche d'ozone.

Art. 47. — Conformément aux articles 45 et 46 ci-dessus, sont déterminées par voie réglementaire les prescriptions concernant notamment :

1°) les cas et conditions dans lesquels doit être interdite ou réglementée l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce le contrôle ;

2°) les délais dans lesquels il doit être satisfait à ces dispositions pour les immeubles, les véhicules et autres objets mobiliers existant à la date de promulgation des textes réglementaires y afférents ;

3°) les conditions dans lesquelles sont réglementés et contrôlés, en application de l'article 45 ci-dessus, la construction des immeubles, l'ouverture des établissements non compris dans la nomenclature des installations classées, prévues à l'article 23 ci-dessus, l'équipement des véhicules, la fabrication des objets mobiliers et l'utilisation des combustibles et carburants ;

4°) les cas et conditions dans lesquels les autorités compétentes doivent, avant l'intervention de toute décision judiciaire, prendre, en raison de l'urgence, toutes mesures exécutoires destinées d'office à faire cesser le trouble.

Annexe 2 : Décret exécutif n° 06-02 du 7 Dhou El Hidja 1426

Correspondant au 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique.

Art. 2. Au sens du présent décret, il est entendu par :

* **Objectifs de qualité** : Un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base de connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur la santé humaine ou sur l'environnement, à atteindre dans une période donnée.

* **Valeur limite** : Un niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base de connaissances scientifiques.

* **Seuil d'information** : Un niveau de concentration des substances polluantes dans l'atmosphère au delà duquel une exposition de courte durée a des effets limités et transitoires sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles.

* **Seuil d'alerte** : Un niveau de concentration des substances polluantes dans l'atmosphère au delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou pour l'environnement.

* **Centile 98** : Pourcentage de valeurs de dépassement autorisé par année civile, soit 175 heures de dépassement autorisées par année civile de 365 jours.

* **Centile 99,9** : Pourcentage de valeurs de dépassement autorisé par année civile, soit 24 heures de dépassement autorisées par année civile de 365 jours.

Art. 3. La surveillance de la qualité de l'air concerne les substances suivantes : le dioxyde d'azote ; le dioxyde de soufre ; l'ozone ; les particules fines en suspension.

Art. 4. La surveillance de la qualité de l'air est confiée à l'observatoire national de l'environnement et du développement durable. Elle s'effectue selon les modalités techniques fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement.

Art. 5. La détermination des objectifs de qualité de l'air et des valeurs limites de pollution atmosphérique est fixée sur une base moyenne annuelle.

Art. 6. Les valeurs limites ainsi que les objectifs de qualité de l'air sont fixés comme suit :

1. Dioxyde d'azote :

a) Objectif de qualité : 135 micro grammes/Nm³ ; b)

Valeur limite : 200 micro grammes/Nm³ (centile 98).

2. Dioxyde de soufre :

a) Objectif de qualité : 150 micro grammes/Nm³ ;

b) Valeur limite: 350 micro grammes/Nm³ (centile 99,9).

3. Ozone :

a) objectif de qualité : 110 micro grammes/Nm

3 ; b) valeur limite : 200 micro grammes/Nm³.

4. Particules fines en suspension

a) objectif de qualité : 50 micro grammes/Nm³.

b) valeur limite : 80 micro grammes/Nm³.

Art. 7. Les seuils d'information et les seuils d'alerte sont fixés sur une base moyenne horaire. **Art. 8.** Les seuils d'information et les seuils d'alerte sont fixés comme suit :

1. Dioxyde d'azote

a) seuil d'information : 400 micro grammes/Nm³.

b) seuil d'alerte : 600 micro grammes/Nm³. 2.

2. Dioxyde de soufre

a) seuil d'information : 350 micro grammes/Nm³.

b) seuil d'alerte : 600 micro grammes/Nm³.

3. Ozone

a) seuil d'information : 180 micro grammes/Nm³.

b) seuil d'alerte : 360 micro grammes/Nm³.

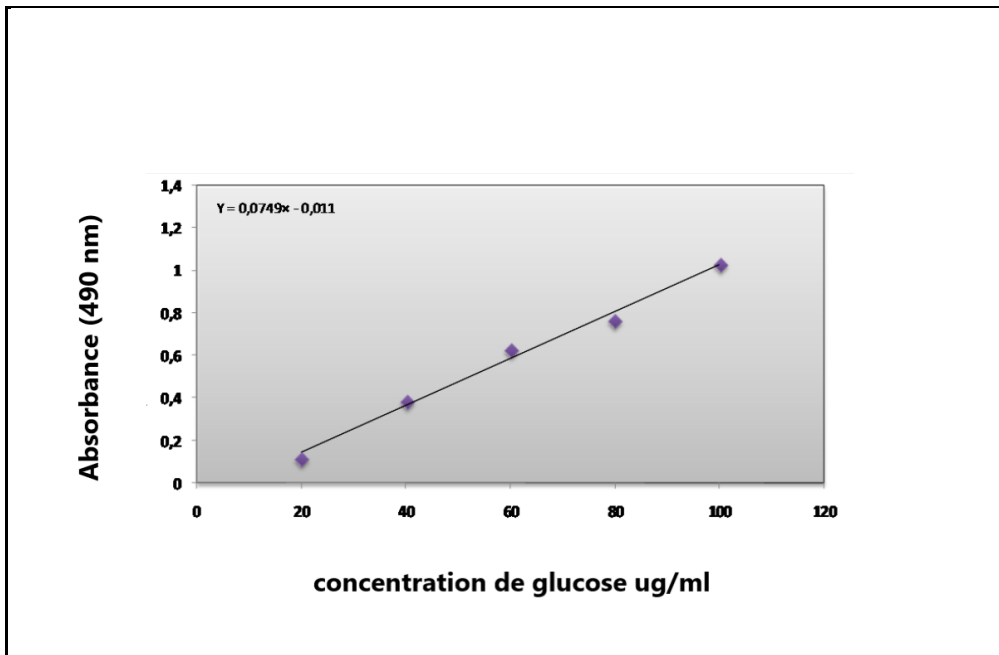
4. Particules fines en suspension

Selon les caractéristiques physiques et chimiques des particules concernées. Les seuils d'alerte sont fixés, le cas échéant, par arrêté conjoint du ministre chargé de l'environnement et du ministre concerné par l'activité engendrant le type de particule considérée.

Art. 9. Lorsque les seuils d'information et les seuils d'alerte fixés par l'article 8 ci-dessus sont atteints ou risquent de l'être, le ou les walis concernés prennent toutes les mesures visant à protéger la santé humaine et l'environnement ainsi que les mesures de réduction et/ou de restriction des activités polluantes.

Annexe 3 : courbe d'étalonnage

Courbe d'étalonnage du glucose



ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم تلوث الهواء على طول الطريق السيار شرق-غرب (منطقة قسنطينة) باستخدام مواد بيولوجية ذات طبيعة نباتية.

لتحقيق نهج الرصد الحيوي ، نقوم بأخذ عينات تشمل اثنتي عشرة محطة وتعتمد على حملة واحدة خلال شهر مارس الذي يوافق فترة الإزهار.

في هذا السياق ، نستخدم أوراق نوعين خشبيين (*Nerium oleander* و *Acacia retinoides*) لقياس التغيرات الكمية في الصفات الفيزيولوجية (الكلوروفيل ، البرولين والسكريات الذائبة) من ناحية ولقياس الجسيمات العالقة المتراكمة على سطح الورقة من ناحية أخرى.

تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها أن التلوث يؤثر سلبًا على النباتات ، خاصةً بالنسبة للمعايير الفيزيولوجية ، والتي تظهر فرقًا مهمًا للغاية بعد تحليل التباين.

الكلمات المفتاحية: تلوث الهواء ، الطريق السيار شرق غرب،

Nerium oleander ، *Acacia retinoides* ، المعايير الفيزيولوجية

RESUME

L'objectif de cette étude est l'évaluation de la pollution atmosphérique le long de l'autoroute Est-Ouest (la région de Constantine) grâce au matériel biologique de nature végétale.

Pour réaliser une approche de biosurveillance nous effectuons un échantillonnage comprend douze stations et dépend sur une seule campagne durant le mois de mars qui correspond à la période de floraison.

Dans ce cadre, nous utilisons les feuilles de deux espèces ligneuses (*Acacia retinoides* et *Nerium oleander*) pour mesurer les variations quantitatives des caractères physiologiques (chlorophylle, proline et sucres solubles) d'une part et pour quantifier les particules en suspension accumulées sur la surface foliaire d'autre part.

Les résultats obtenus confirment que la pollution agit d'une manière négative sur les végétaux surtout pour les paramètres physiologiques qui montrent une différence très hautement significative après l'analyse de la variance.

Mots clés : Pollution atmosphérique, Autoroute Est-Ouest, *Acacia retinoides*, *Nerium oleander*, Paramètres physiologiques

ABSTRACT

The objective of this study is the evaluation of air pollution along the East-West Highway (the region of Constantine) using biological material of plant nature.

To achieve a biomonitoring approach, we carry out a sampling that includes twelve stations and depends on a single campaign during the month of March which corresponds to the flowering period.

In this context, we use the leaves of two woody species (*Acacia retinoides* and *Nerium oleander*) to measure the quantitative variations of physiological characters (chlorophyll, proline and soluble sugars) on the one hand and to quantify the suspended particles accumulated on the leaf surface on the other hand.

The results obtained confirm that pollution acts negatively on plants, especially for physiological parameters, which show a very highly significant difference after analysis of variance.

Keywords: Air Pollution, East-West Highway, , *Acacia retinoides* ,*Nerium oleander*, Physiological parameters