

N° d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE & POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR & DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DJILLALI LIABES
FACULTE DES SCIENCES EXACTES
SIDI BEL ABBES



THESE DE DOCTORAT

Présentée par: Mme Ennabaouia Hanene BEMMANSOUR

Domaine : Sciences de la Matière

Filière : Chimie

Intitulé de la formation : Chimie Analytique et Environnement

Intitulée

Caractérisation de la pollution atmosphérique par la bioindication

Soutenue le 14 Décembre 2021

Devant le jury composé de :

Président : Pr MERINE Houaria..... (Professeur, UDL-SBA)

Examineurs : Pr BELLEBIA Sohbi..... (Professeur, UDL-SBA)

Dr BOUKLI-HACENE Fouad..... (MCA, ESSAT-Tlemcen)

Directeur de thèse : Pr BOUYAKOUB Zahira Amel..... (Professeur, UDL-SBA)

Invitée d'honneur : Pr HARRACHE Djamilia..... (Professeur, UDL-SBA)

Année universitaire 2021-2022

Remerciements

Je remercie en premier et en dernier « Allah » le tout puissant qui m'a guidé tout au long de mon parcours, et qui m'a permis d'achever ce travail.

Je tiens à présenter un remerciement particulier à ma directrice de thèse Mme le professeur Zahira Amel Bouyakoub, qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour m'avoir accordé sa confiance. Ses compétences, ses précieux conseils, sa disponibilité, sa grande simplicité, et sa gentillesse à mon égard ont contribué au bon déroulement de ce travail de recherche.

J'adresse mes humbles et sincères remerciements à mon invité d'honneur le Professeur HARRACHE Djamila. Qu'elle veuille trouver ici l'expression de ma gratitude pour m'avoir accueilli au sein de son équipe. Soyez assuré de mon profond respect et de ma vive reconnaissance.

Je remercie Mme le Professeur MERINE Houaria, je vous suis reconnaissante d'avoir accepté de présider le jury de ma thèse. Veuillez trouver ici le témoignage de tout mon respect et de ma sincère reconnaissance.

Mes vifs remerciements à Mr le Professeur BELLEBIA Sohbi d'avoir accepté de juger ce travail et de participer à ce jury de thèse. C'est un grand honneur pour moi.

Je remercie le Dr BOUKLI HACENE Fouad de l'Université de TLEMCEM, qui a bien voulu examiner ce manuscrit et juger ce travail. Qu'il trouve ici toutes mes expressions respectueuses.

Je remercie ma tante BEMMANSOUR Nadia professeur à l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, pour toute son aide et ces précieux conseils ainsi que pour l'attention soutenue qu'elle m'a manifesté par ces encouragements incessants, et surtout pour sa patience et compréhension.

Je tiens à remercier également le personnel de l'observatoire national de l'environnement et du développement durable (ONEDD) régional d'Oran pour leur hospitalité, ainsi que le laboratoire d'analyse AFAK pour leur disponibilité et leur accueil.

Je tiens à remercier mon très cher Mari pour son soutien et sa collaboration

Je remercie mes chers parents pour leurs soutiens et encouragements.

DEDICACE

Je dédie cette thèse

*Aux personnes qui me sont les plus chers au monde
; Mon mari et ma fille*

A mes très chers parents

A ma très chère tante Nadia

A ma chère sœur

A mon cher frère

A toute personne qui m'a aidé de près ou de loin.

TABLES DES MATIERES

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE.....1

Partie I : Recherche bibliographique

Chapitre I : Pollution atmosphérique liée au trafic routier

1.1. Introduction.....	3
1.2. Historique.....	3
1.3. Structure verticale de l'atmosphère.....	3
1.4. Définition de la pollution atmosphérique.....	5
1.5. Principaux polluants atmosphériques.....	5
1.6. Sources de pollution atmosphérique.....	8
1.7. Les différentes échelles de la pollution atmosphérique.....	14
1.8. Les mécanismes de la pollution atmosphérique.....	15
1.9. Les facteurs influant la dispersion des polluants.....	17
1.10. Généralités sur les métaux lourds.....	19
1.11. Législation et normes de rejet.....	26
1.12. Pollution atmosphérique liée aux trafics routiers.....	28

Chapitre II : Concept de bio-surveillance

2.1. Introduction.....	35
2.2. Qu'est-ce qu'un bio-indicateur.....	35
2.3. Concept de bio-indication.....	36
2.3.1. Bio-intégrateur.....	36
2.3.2. Bio-accumulateur.....	36
2.3.3. Bio-marqueur.....	37
2.4. Stratégie de mise en œuvre de la bio-surveillance.....	38
2.4.1. La méthode <i>in situ</i>	38
2.4.2. La méthode des transplants.....	39
2.5. Organismes utilisés pour la bioaccumulation végétale des éléments traces Métalliques..	41
2.5.1. Les lichens.....	41
2.5.2. Les mousses.....	43
2.5.2.1. Mécanisme de piégeage des particules de l'air et des métaux lourds.....	45
2.5.2.2. Facteurs influent sur les concentrations de métaux traces dans la mousse.....	46
2.5.3. Les végétaux supérieurs.....	47

Chapitre III : généralités sur le Pin d'Alep

3.1. Pin d'Alep.....	51
3.1.1. Description de l'espèce.....	51
3.1.2. Taxonomie du pin d'Alep.....	51
3.2. Répartition géographique du pin d'Alep.....	52
3.3. Ecologie du pin d'Alep.....	55

Partie II : Partie expérimentale

Chapitre IV : présentation de la zone d'étude

4.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	57
4.2. Cadre topographique.....	58
4.3. Cadre hydrographique.....	59
4.4. Cadre climatique.....	60
4.4.1. Température.....	60
4.4.2. Pluviométrie.....	61
4.4.3. Vent.....	62
4.4.4. Humidité.....	64
4.5. Synthèse bioclimatique.....	64
4.5.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	64
4.5.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER.....	66
4.6. Végétation et Agriculture.....	67
4.7. Réseau routier de la Wilaya de Sidi Bel Abbas.....	68
4.8. Le parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbas.....	70
4.8.1. Infrastructures de transport.....	70
4.8.2. Etat du parc automobile.....	71
4.8.3. Stockage et distribution de carburants.....	72
4.9. Choix des sites de prélèvements.....	74

Chapitre V : matériels et méthodes

5.1. Introduction.....	76
5.2. Description des sites de prélèvements.....	76
5.3. Échantillonnage des plantes.....	79
5.4. Méthode d'extraction.....	81
5.4.1. Pré-traitement.....	81
5.4.2. Mise en solution.....	82
5.5. Choix du métal.....	85
5.6. Analyse des éléments.....	85
5.7. Analyse statistique.....	88

Chapitre VI : résultats et discussions

6.1. Teneurs des métaux lourds.....	89
6.1.1. Teneurs en métaux lourds dans les aiguilles de pin d'Alep au niveau du site urbain....	89
6.1.2. Teneurs en métaux lourds dans la litière de pin d'Alep au niveau du site urbain.....	90
6.1.3. Teneurs en métaux lourds dans les aiguilles de pin d'Alep au niveau du site rural.....	90
6.1.4. Teneurs en métaux lourds dans la litière de pin d'Alep au niveau du site rural.....	91
6.2. Interprétation des teneurs enregistrées.....	92
6.3. Synthèse des résultats entre les deux sites d'étude.....	95
6.4. Analyse en Composantes Principale (ACP)	98
6.5. Conséquences sanitaires de la pollution atmosphérique par les métaux lourds.....	99
6.5.1. Effet des métaux lourds sur la santé humaine.....	100
6.5.2. Effet de la pollution de l'air sur la population Belabésienne.....	102

Conclusion générale et perspectives.....	107
---	------------

Références bibliographiques

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP : Analyse en composante principale
ADEME : Agence de l'environnement et la Maîtrise de l'Energie, France
Al : aluminium
ANDI : Agence Nationale de Développement de l'Investissement
BPCO : Bronchopneumopathie Chronique
Cd: cadmium
CEE : communauté Economique Européenne
CERTU : Centre d'étude sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques
CH₃Hg : le méthyl-mercure
CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer
CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique
CO : monoxyde de carbone
COV : Composés organiques volatiles
Cr : Chrome
Cu : Cuivre
CW : Chemin Wilaya
ETM : Eléments Trace Métallique
Fe : fer
g.ml⁻¹ = mg/l : milligramme par litre
H⁺: ion hydrogène
Ha : Hectare
HAP : Hydrocarbure Poly Aromatique
Km/h : Kilomètre par heure
mg/m³ : Milligramme par mètre cube
Ni : nickel
NO : Nobelium
NO : oxyde d'azote
NO₂ dioxyde d'azote
NO_x : oxyde d'azote
O₃ : ozone

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONEDD : Observatoire National de l'Environnement et Développement Durable

ONS : Office National des Statistiques

Pb : Plomb

PCB : Polychlorobiphényle (composé aromatique).

PRQA : Plan Régional de la Qualité de l'Air

RN : route nationale

SAA : spectroscopie d'absorption atomique

SO₂ : Dioxyde de soufre

TSP : Particules Totales en Suspension

Zn : Zinc

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Sources anthropiques des Principaux Polluants de l'air ambiant.....	10
Tableau 2 : Tableau périodique des éléments.....	20
Tableau 3 : Valeurs limites de quelques métaux toxiques dans l'air selon l'OMS et la Directive Européenne.....	28
Tableau 4 : Répartition du parc automobile national selon le genre et l'année de mise en circulation.....	30
Tableau 5 : Répartition du parc automobile national selon le genre de véhicule et la source d'énergie.....	31
Tableau 6 : Teneurs en métaux traces de divers fluides.....	33
Tableau 7 : Flux polluants issus des infrastructures routières estimés par Pagotto.....	34
Tableau 8 : Comparaison entre la méthode in situ et la méthode des transplants.....	40
Tableau 9 : Répartition du pin d'Alep dans quelques pays méditerranéens.....	54
Tableau 10 : Moyennes mensuelles des températures (°C) de 2010 à 2020 à la Wilaya de Sidi Bel Abbas.....	60
Tableau 11 : Moyennes mensuelles des précipitations (mm) de 2010 à 2020 à Sidi Bel Abbas.....	61
Tableau 12 : Moyennes mensuelles des vents (km/h) de 2010 à 2020 à Sidi Bel Abbas.....	62
Tableau 13 : Moyennes mensuelles d'Humidité relative (%) de 2010 à 2020 à Sidi Bel Abbas.....	64
Tableau 14 : Répartition du parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbas selon le genre de véhicule.....	70
Tableau 15 : Répartition du parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbas selon les tranches d'âges.....	71
Tableau 16 : Répartition du parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbas selon la source d'énergie.....	73

Tableau 17 : Sites de prélèvements.....	75
Tableau 18 : Répartition des zones d'échantillonnage dans les deux sites d'étude.....	79
Tableau 19 : Concentrations des métaux lourds des aiguilles de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau du bosquet de Sidi Bel Abbas.....	89
Tableau 20 : Concentrations des métaux lourds de la litière de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau du bosquet de Sidi Bel Abbas.....	90
Tableau 21 : Concentrations des métaux lourds des aiguilles de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau de la station - service de Télagh.....	90
Tableau 22 : Concentrations des métaux lourds de la litière de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau de la station - service de Télagh.....	91
Tableau 23 : Synthèse des résultats de concentration des métaux lourds « mg/kg » au niveau des deux sites d'étude.....	95
Tableau 24 : Classification des métaux lourds selon leur concentration.....	97

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Structure de l’atmosphère terrestre	4
Figure 2 : Mécanismes de la pollution atmosphérique.....	15
Figure 3 : Parc automobile national selon les tranches d’âge.....	30
Figure 4 : Concept de Bio-indication.....	37
Figure 5 : Les différents types de Thalle.....	42
Figure 6 : Mousses bio-accumulatrices de pollution atmosphérique.....	44
Figure 7 : Présentation schématique des taxons bioaccumulateurs d’ETM et des paramètres régissant les phénomènes d’accumulation.....	49
Figure 8 : Les aiguilles et cônes de pin d’Alep.....	51
Figure 9 : Aire de répartition du Pin d’Alep.....	54
Figure 10 : Air de projection du Pin d’Alep sur la Climagramme d’Emberger.....	55
Figure 11 : Situation géographique de la zone d’étude « Wilaya de Sidi Bel Abbès ».....	58
Figure 12 : Moyennes mensuelles des Températures de 2010 à 2020 à Sidi Bel Abbès.....	61
Figure 13 : Précipitations (2010-2020) à Sidi Bel Abbès.....	62
Figure 14 : Variations des vitesses moyennes mensuelles des vents et de la pression (2010-2020) à Sidi Bel Abbès.....	63
Figure 15 : Rose des vents à Sidi Bel Abbès.....	63
Figure 16 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la Wilaya de Sidi Bel Abbès.....	65
Figure 17 : Climagramme d’EMBERGER.....	67
Figure 18 : Carte du réseau routier de la Wilaya de Sidi Bel Abbès.....	69
Figure 19 : Réparation des Taxis selon leur mode de transport (%).....	70
Figure 20 : Réparation des Bus selon leur mode de transport (%).....	71

Figure 21 : Répartition du parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbes selon les tranches d'âges.....	72
Figure 22 : Répartition du parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbes selon la source d'énergie.....	74
Figure 23 : Localisation des 3 zones d'échantillonnages au niveau du Bosquet à Sidi-Bel-Abbès.....	77
Figure 24 : Localisation des 3 zones d'échantillonnages au niveau de la station-service à Télagh.....	78
Figure 25 : Aiguilles d'arbre du pin d'Alep.....	80
Figure 26 : litière du pin d'Alep.....	80
Figure 27 : Prétraitement des aiguilles de pin et sa litière par zone de prélèvement (pour le site urbain).....	81
Figure 28 : Séchage des aiguilles à l'étuve à 40°C (pour le site urbain).....	82
Figure 29 : four de calcination Heraeus.....	83
Figure 30 : creusets contenant les cendres d'aiguilles et de litière après 4h de calcination à 420°C.....	83
Figure 31 : Reprise des cendres par HNO ₃ 65%.....	84
Figure 32 : Reprise par 10ml d'HNO ₃ 50% après évaporation.....	84
Figure 33 : jaugeage à 50ml après 24h de filtration (exp : zone2).....	84
Figure 34 : les six solutions prêtes pour analyse (exp : site urbain).....	84
Figure 35 : Une lampe à cathode creuse pour dosage du Cadmium.....	85
Figure 36 : Principe d'un spectrophotomètre d'absorption atomique de flamme.....	86
Figure 37 : Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme utilisé pour l'analyse.....	87
Figure 38 : Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme utilisé pour l'analyse.....	87
Figure 39 : Diagramme représentant la concentration des métaux lourds des aiguilles de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau du bosquet de Sidi Bel Abbes.....	89

Figure 40 : Diagramme représentant la concentration des métaux lourds de la litière de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau du bosquet de Sidi Bel Abbas.....	90
Figure 41 : Diagramme représentant la concentration des métaux lourds des aiguilles de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau de la station - service de Télagh.....	91
Figure 42 : Diagramme représentant la concentration des métaux lourds de la litière de Pins d'Alep« mg/kg » au niveau de la station - service de Télagh.....	92
Figure 43 : Diagramme représentant la synthèse des résultats de concentration des métaux lourds « mg/kg » au niveau des deux sites d'étude.....	96
Figure 44 : représentation en pourcentage de chaque métal dans les aiguilles de Pins d'Alep et de sa litière au niveau des deux sites d'étude.....	96
Figure 45 : Résultats de l'analyse des composantes principales entre les teneurs en métaux lourds des aiguilles de Pins et de la litière au niveau du site urbain et rural.....	98
Figure 46 : Nombre d'asthmatiques hospitalisé durant le premier semestre 2020.....	103

Introduction Générale

Parmi les principaux polluants générés par les activités liées aux trafics de voitures, les métaux lourds, tels que le Cu, le Pb, le Cr etc... posent des problèmes particulièrement préoccupants. En effet, ces éléments, par nature non biodégradables, présentent une forte écotoxicité et pourraient être impliqués dans de nombreuses pathologies. Ainsi, pour reprendre les termes d'un récent rapport de l'Office Parlementaire des Choix Scientifiques et Technologiques : « si les métaux lourds ont fait la civilisation, ils peuvent aussi la défaire ». Le trafic automobile est une source importante de la pollution atmosphérique à travers les rejets de combustion d'essence et de gasoil. Les surfaces urbaines constituent des espaces de dépôt de cette pollution et la végétation devient un réceptacle permettant d'évaluer ces retombées. La rapide industrialisation et la circulation routière dans les zones urbaine atténuent la qualité de l'air en émettant des métaux lourds (Rupa et Venkatachalam, 2018).

Les expositions humaines aux particules émises par les véhicules à moteur comprennent des mélanges complexes de métaux. Le trafic émet des métaux lourds sous forme d'émissions d'échappement, mais aussi par des rejets liés à la détérioration de composantes automobiles telles que les pneus, les pots catalytiques et les freins (Peden, 2002 ; Zereini *et al.*, 2012). La pollution de l'air est causée par une densité élevée due au trafic routier (Gupta *et al.*, 2019).

Plusieurs chercheurs ont démontré que les plantes sensibles réagissent comme de véritables bio-indicateurs de pollution. Cette technique de « bio-surveillance » utilise des organismes végétaux qui ont la capacité de stocker des polluants dans leurs tissus ou sur leurs surfaces grâce à des mécanismes de fixation et de transfert. La mesure des teneurs en polluants dans ses végétaux sensibles permet de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope ou l'homme. Les plantes considérées sensibles sont utilisés comme bio-indicateurs pour surveiller le stress généré par la pollution de l'air (Rupa et Venkatachalam, 2018).

L'évaluation des émissions de métaux lourds provenant de la circulation automobile sont l'objectif assigné à ce travail. Il permet de mieux comprendre ces émissions dont les retombées sont néfastes pour l'environnement et les hommes à travers une espèce végétale utilisée comme bio-accumulatrice de la contamination aérienne en métaux lourds provenant du trafic routier. Les émissions de métaux lourds engendrées par le trafic routier se font essentiellement sous

forme de fines particules qui sont ensuite collectées par les surfaces foliaires (Kupper et *al.*, 2001). Des échantillons d'aiguilles et de litière de pins d'Alep (*Pinus halepensis*) ont été utilisés pour le dosage des concentrations des métaux lourds tels que le chrome, le nickel, le plomb, le cuivre, le zinc le fer et le cadmium, au niveau d'un site urbain à Sidi-Bel-Abbès et un site rural dans une station-service à Telagh.

Le but de ce travail consiste à évaluer les concentrations des métaux lourds en l'occurrence le plomb, le zinc, le chrome, le fer, le cadmium, le nickel et le cuivre ; d'origine routière de la Wilaya de Sidi Bel Abbes, en utilisant le pin d'Alep comme bioaccumulateur de polluants.

Pour aboutir aux buts escomptés, Cette thèse est divisée en deux volets : un volet qui se rapporte à la recherche bibliographique et un autre concerne la partie expérimentale.

Le premier volet est divisé en trois chapitres : le premier chapitre traite la pollution atmosphérique liée aux trafics routiers, la biosurveillance et ces différents concepts seront décrits dans le deuxième chapitre, le troisième chapitre englobe des connaissances sur le pin d'Alep où elles seront succinctement présentées,

Tandis que le deuxième volet est divisé en trois chapitres, le premier chapitre sur des généralités de la Wilaya de Sidi Bel Abbes, le deuxième chapitre qui résume le protocole expérimental suivis alors de notre investigation et le troisième chapitre traite la partie résultats et discussion. Enfin, nous développerons une conclusion générale qui synthétisera les principaux résultats de notre travail.

1.1. Introduction

De tous les milieux avec lesquels l'homme est en contact ; l'atmosphère est le seul auquel il ne peut se soustraire. C'est aussi le milieu où il a les échanges les plus importants.

L'air atmosphérique est un mélange inodore et incolore de plusieurs gaz de composition constante à l'état pur : 78% du gaz azoté (N_2), 21% de l'oxygène (O_2), 1% d'argon (Ar), ainsi que les gaz rares et la vapeur d'eau (Musilova et *al.*, 2016). A côté de ces constituants majoritaires, représentant plus de 99,5% de la masse de l'atmosphère, coexistent une multitude d'autres composés minoritaires : molécules, atomes ou radicaux.

Par la nature et l'étendue de son impact, le rejet d'un grand nombre de polluants dans l'atmosphère représente une grave menace pour la santé humaine mais aussi pour l'environnement (Foan, 2012). Les composés ou éléments chimiques libérés dans l'atmosphère qui résultent principalement des activités humaines et qui peuvent causer des dommages chez les organismes vivants, sont considérés comme des polluants de l'air (Moriarty, 1999).

1.2. Historique

L'évolution du concept de la pollution atmosphérique est liée principalement au changement et variation de la concentration du CO_2 , Cette dernière a beaucoup augmenté depuis le début de l'ère industrielle. Des mesures effectuées, par exemple, sur les bulles d'air emprisonnées dans les glaces polaires, montrent qu'elle est passée de 280 ppm avant l'ère industrielle à plus de 400 ppm actuellement, soit une augmentation de près de 30 % seulement en un siècle et demi. Au rythme actuel d'émission, cette concentration pourrait dépasser 500 ppm en 2100. On admet qu'entre 1971 et 1988, les émissions annuelles de carbone dans le monde sont passées de 4,8 à 6 milliards de tonnes. On parle tantôt d'émissions de carbone, tantôt d'émissions de dioxyde de carbone.

1.3. Structure verticale de l'atmosphère

L'atmosphère, est maintenue par gravité autour du globe terrestre en rotation ; sa pression et sa densité diminuent avec l'altitude, de 700 à 800 km au-dessus du niveau de la mer commence le vide interstellaire : au-delà, dans l'exosphère, les molécules ne sont plus maintenues par la gravité et s'échappent à travers la magnétosphère dans l'espace. (Beauchamp, 2005).

L'atmosphère terrestre est subdivisée en plusieurs couches concentriques et superposées en partant de la surface du sol où on trouve, (Fig.1).

► **La biosphère** : Cette couche est comprise entre le sol et une centaine de mètres d'altitude. Elle est la zone où vivent les hommes, les animaux et les végétaux. Les polluants atmosphériques sont émis au niveau de cette zone.

► **La troposphère** : qui s'étend du sol jusqu'à 12Km d'altitude. C'est une zone où les composés chimiques se mélangent et réagissent entre eux.

► **La stratosphère** : Elle est comprise en moyenne entre 12 et 50 Km d'altitude. Les polluants y sont rares mais souvent destructeurs.

La mésosphère, la thermosphère et la magnétosphère sont négligeable en ce qui concerne la pollution atmosphérique.

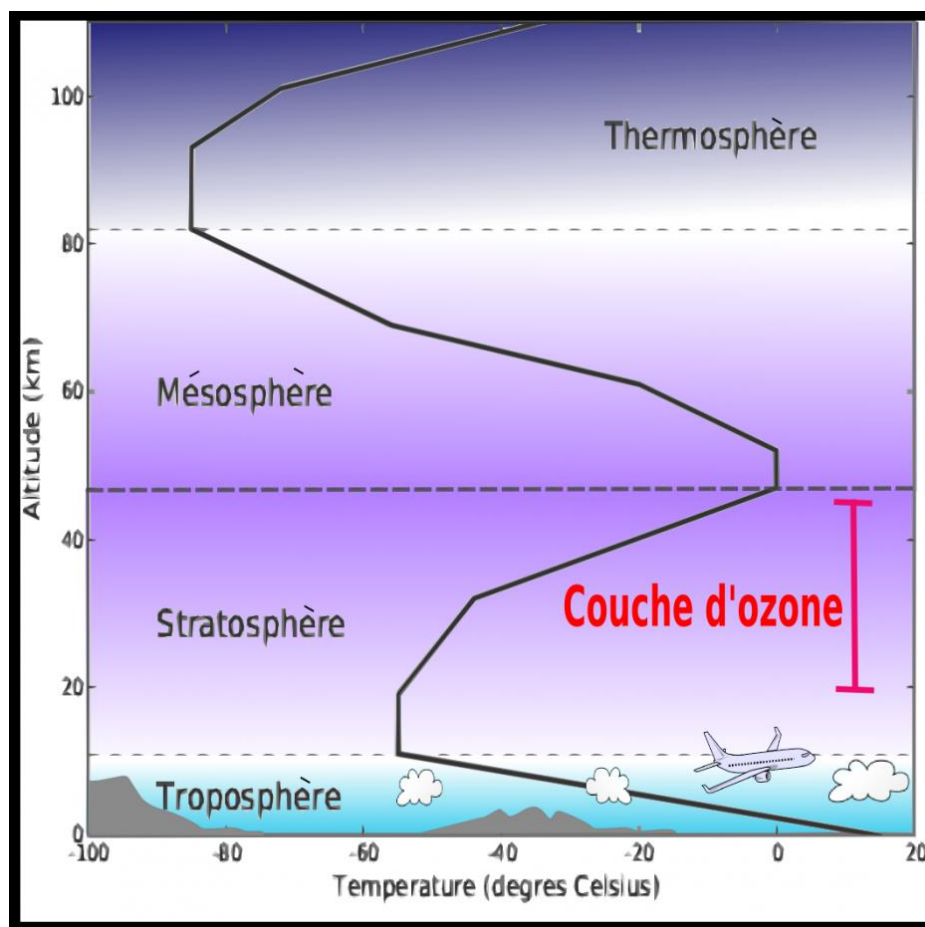


Figure 1 : Structure de l'atmosphère terrestre

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Couches_de_1%27atmosphere.png).

1.4. Définition de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique peut être définie comme : « *La présence d'impuretés dans l'air pouvant provoquer une gêne notable pour le confort ou la santé et un dommage au bien. Cette pollution peut provenir de gaz, de vapeurs, de particules liquides ou solides ou encore de rayonnement. C'est aussi une modification chimique et physique du milieu naturel aboutissant à des effets nuisibles pour l'homme* ». (Masclat, 2005).

La pollution atmosphérique est clairement définie par l'article 2 de la loi française n°96-1236 du 30 décembre 1996 : «*Constitue une pollution atmosphérique l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives* ».

En Algérie, la pollution atmosphérique est définie dans l'article 3 de la loi 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, comme suit : "Pollution de l'Atmosphère : l'introduction de toute substance dans l'air ou dans l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptibles de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie, à la santé ou à la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et des monuments ou au caractère des sites".

Aujourd'hui dans les villes, la pollution d'origine industrielle a cédée la place à la pollution liée aux transports, qui engendrent une pollution atmosphérique par les différents rejets dans l'air, à savoir : les particules totales en suspension (TSP), en particuliers les métaux lourds contenus dans ces derniers (Sbargoud et Brahim, 2011).

1.5. Les principaux polluants atmosphériques

Les polluants atmosphériques provenant du trafic routier sont classés selon deux catégories : les polluants primaires émis directement à l'échappement, et les polluants secondaires résultant de la transformation chimique des premiers dans l'atmosphère.

1.5.1. Les polluants atmosphériques primaires

Le dioxyde de carbone

Le CO₂ (ou gaz carbonique) est un produit de toute combustion de matière organique (pétrole, bois, végétaux...). Il contribue au réchauffement climatique par son action sur l'effet de serre ; On estime qu'en moyenne 30 % du CO₂ émis par un pays a pour origine la combustion de carburant pour le transport, (Kyoto, 1997).

Le monoxyde de carbone

Le CO est également issue de la combustion de matière organique. Les voitures émettent des taux de CO variables, qui sont particulièrement élevés au ralenti. En moyenne, 70 % du CO émis est imputable aux transports. Quand il est inhalé il remplace l'oxygène dans le sang et réduit l'alimentation des tissus organiques. Par ailleurs c'est un facteur aggravant des troubles causés par le tabac (pollution locale).

Les oxydes d'azotes

(NO et NO₂, notés NO_x) proviennent de l'oxydation de l'azote de l'air lors de la combustion du carburant. Les oxydes d'azote sont des précurseurs de l'ozone atmosphérique, qui en cas de forte concentration est dangereux pour la santé. En moyenne, 75 % des NO_x sont issus des transports automobiles. Les NO ne sont pas très toxiques. Leurs effets sont assez mal connus et ils semblent négligeables pour les teneurs dont est responsable la pollution automobile. Cependant les NO sont assez facilement oxydés en NO₂. Ils sont quant à eux capables de se fixer sur les alvéoles pulmonaires et les altérer, or celles-ci nous servent de défenses mécaniques contre l'agression des gaz, des poussières, des virus, des bactéries (pollution locale).

Hydrocarbures imbrûlés

Une certaine fraction du carburant admis dans le moteur sort sans avoir brûlé : cette situation peut avoir des conséquences sur l'effet de serre (notamment le méthane CH₄ émanant principalement de véhicules fonctionnant au gaz naturel), et sur la santé.

Si on retire le CH₄ (qui est malgré tout moins polluant que les autres), 60 % des hydrocarbures sont émis par les automobiles, (DRIRE, 2004).

Particules

Des particules sont émises lors de combustions de mauvaise qualité (hydrocarbures partiellement brûlés). Elles sont à l'origine des fumées que l'on distingue à la sortie des échappements des camions au diesel. Ces particules peuvent être plus ou moins grosses et avoir

des effets différents. Les plus fines peuvent pénétrer le corps humain et provoquer des maladies chroniques ou graves comme des cancers, les plus grosses se déposent rapidement au sol ou sont filtrées par les voies respiratoires.

Métaux lourds

Parmi les métaux lourds, le plomb est celui qui est le plus à craindre. Il peut causer par exemple des problèmes de saturnisme chez les enfants (même effets que certaines vieilles peintures au plomb). Il s'infiltré dans le corps par inhalation, il peut aussi traverser l'épiderme, passer dans le sang et perturber les échanges ioniques dans le cerveau. Cette action sur le système nerveux peut entraîner des retards de développement psychique chez les enfants (Germain, 2006).

Le dioxyde de soufre

Le SO₂ est issu de la combustion de carburants soufrés (Diesel). En général il est émis en même temps que les particules. Le SO₂ est en partie responsable des pluies acides. Les molécules de SO₂ inhalées sont arrêtées par les défenses nasales et sont donc généralement inoffensives. Cependant à très forts taux d'inhalation, elles peuvent amplifier les effets des autres polluants. Les spécialistes considèrent que les transports sont responsables des émissions de SO₂ à hauteur de 13 % en moyenne.

1.5.2. Les polluants atmosphériques secondaires

L'ozone

L'O₃ est un constituant naturel de la troposphère, cependant les oxydes d'azote peuvent provoquer par réaction chimique une augmentation de la concentration d'ozone atmosphérique (l'ozone n'est pas directement émis par le moteur on dit que c'est un polluant secondaire). L'ozone entraîne sur l'homme le rétrécissement des voies respiratoires (aggravé dans le cas d'une activité physique), une réduction de la capacité pulmonaire, des toux, des irritations des yeux et des muqueuses, des maux de tête et peut favoriser le déclenchement de crises d'asthme.

Autres

On peut citer enfin le benzène qui est cancérigène mais qui devrait disparaître peu à peu des carburants ou l'hydrogène sulfuré H₂S, qui a l'odeur d'œuf pourri, et qui peut être produit dans les pots catalytiques, (Herreboudt, 1999).

1.6. Sources de pollution atmosphérique

Bien que les rejets naturels de diverses substances contribuent à la pollution atmosphérique, les activités humaines présentent la principale source de polluants rejetés dans l'environnement, (CITEPA, 2019).

1.6.1. Sources naturelles

L'atmosphère contient une quantité variable de substances, gaz et aérosols, d'origine naturelle provenant de sources extrêmement diverses. Poussières et gaz d'origine volcanique, ainsi sur environ 1500 volcans actifs actuellement, il se produit en moyenne une soixantaine d'éruptions volcaniques terrestres par an, auxquelles s'ajoutent de très nombreuses éruptions sous-marines. L'Etna par exemple émet en moyenne 3000 tonnes de dioxyde de soufre (SO₂) par jour et jusqu'à 10000 tonnes en période de forte activité (Elichegaray, 2008).

Bien que mineurs en comparaison à la pollution anthropique, les aérosols volcaniques peuvent avoir des effets importants, tant au niveau de la pollution régionale à proximité du volcan qu'au niveau de la pollution globale dont les conséquences intéressent la totalité de l'atmosphère terrestre.

Les feux de forêts, aggravés en saison sèche, ont un impact considérable sur l'atmosphère et également les plantations brûlées par les agriculteurs. Les poussières sont aussi dues à l'érosion du sol et de sels marins. En effet les poussières désertiques transportées par les vents en haute altitude peuvent arroser et ensemercer toute la planète. Des chercheurs estiment que 800 millions de tonnes de poussières se déposent chaque année sur l'ensemble de la planète, soit 1600 fois les émissions française de poussière mentionnées par l'Institut français de l'environnement.

Les végétaux sont aussi à l'origine d'émission de produits naturels tels que les terpènes, pollens, et les spores. Les grains de pollens peuvent être dispersés grâce à l'action des insectes et du vent, et fécondé ainsi d'autres fleurs. Les autres sources de pollution naturelle, la foudre, les algues à la surface des océans qui émettent du sulfure d'hydrogène (H₂S). Des zones humides et les marais la végétation en se décomposant produisant ainsi du méthane (CH₄). Quant aux émissions animales sont des fermentations de bactéries ainsi que la respiration. Les émissions d'origine naturelle peuvent difficilement être qualifiées de pollution. Elles sont néanmoins

importantes dans la mesure où les quantités émises peuvent être si considérables qu'elles perturbent les cycles biologiques.

1.6.2. Sources anthropogènes

1.6.2.1. Industrielles

Depuis que l'homme s'est sédentarisé, il y a environ 10000 ans, les villes ont commencé à se développer. Maintenant, une plus grande proportion de personnes vit dans les villes et les villages que dans les campagnes, et cette tendance s'accroît (croissance trois fois plus rapide de la population des villes). On estime d'ici une vingtaine d'années près de 70% de la population mondiale vivra dans les villes (contre 50% en 2008). Cette proportion atteindra les 80% pour les pays développés. La concentration d'un grand nombre d'habitants en un même lieu conduit à une forte demande énergétique et à la production de grandes quantités de déchets et de rejet, (Tableau 1) (Ngô et Régent, 2012).

La pollution de l'air est la résultante de multiples facteurs : croissance de la consommation d'énergie, développement des industries extractives, métallurgiques et chimiques, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, ainsi que la production et l'utilisation d'énergie.

Les Chlorofluorocarbones ou CFC qui sont des dérivés halogénés essentiellement liés aux activités humaines, ils sont par exemple utilisés comme propulseurs dans les bombes aérosols, liquides réfrigérants, agents de fabrication de mousses de polymères, solvants pour l'électronique.

Tableau 1 : Sources anthropiques des Principaux Polluants de l'air ambiant (Ngô et Régent, 2012).

Polluants atmosphériques	Origines
Dioxyde de soufre (SO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 80% industrie ■ 10% résidentiel et tertiaire et chauffage urbain
Dioxyde d'azote (NO ₂) (diminution de 40% en 15 ans)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 50% transport routier ■ 25% industrie ■ 5% résidentiel et tertiaire et chauffage urbain
Monoxyde de carbone (CO) (diminution de 75% en 15 ans)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 30% résidentiel et tertiaire Et chauffage urbain ■ 30% transport routier ■ 30% industrie
Ozone (O ₃) (doublement en 15 ans)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Polluant secondaire résultant de la transformation photochimique de certains polluants (NO_x COV) en présence de rayonnement solaire (UV)
Particule en suspension (Stabilité ou augmentation des taux de poussières)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 10 à 30% secteur résidentiel et tertiaire ■ 15% transport routier ■ 30% industrie ■ 30% à 40% secteur d'agriculture
Composés organiques Volatils (COV) (diminution de 80% du benzène grâce aux progrès sur les carburants)	<ul style="list-style-type: none"> Transport routier, industrie, et usage de solvant

Ceux qui contiennent du chlore ou du brome, tenus comme responsables de la diminution de la concentration en ozone de la stratosphère, contribuent puissamment à l'effet de serre.

1.6.2.2. Trafic routier

Les activités humaines, tout comme les processus naturels modifient les milieux où ils se déroulent. A travers l'air (poussière et gaz) et l'eau que les risques sont souvent les plus présents. Depuis 20 ans, la pollution industrielle a baissé de 45 à 65 %, la pollution due aux transports a augmenté de plus de 30 %, la cause principale étant l'accroissement du trafic automobile. En 2005, près de 890 millions de véhicules parcouraient la planète (Athanasopoulou et *al.*, 2016).

Le trafic automobile est la cause principale de la pollution en ville en raison de l'augmentation constante du nombre de véhicules à moteur diesel et essence, (Hernandez, 2015).

En plus, s'ajoutent les émissions gazeuses issues des activités agricoles dont notamment l'élevage qui contribue plus au moins à la pollution atmosphérique, (Maillard et *al.*, 2020).

En 2007, le milliard était dépassé. De 1955 à 2005, en 2009, plus de 61 millions de véhicules. La production automobile mondiale a atteint un record en 2011 avec 80,1 millions d'unités fabriquées (Organisation internationale des constructeurs automobiles (OIAIC)). Depuis 2011, l'Asie est désormais le premier continent producteur, avec 40,6 millions d'unités fabriquées dont 18,4 millions en Chine, le premier pays producteur mondial. Elle est suivie par les Amériques (17,8 millions d'unités) et l'Europe (17,7 millions de véhicules). Selon les Nations Unies, le parc automobile mondial devrait tripler d'ici 2050 alimenté à 80% par les économies en développement.

Aujourd'hui dans les villes, la pollution d'origine industrielle a cédé la place à une pollution plus diffuse et plus proche des populations, liée aux transports, Ce dernier est actuellement un des secteurs les plus importants d'émission de polluants, notamment pour les NO_x et les COV qui, sous l'effet de l'ensoleillement, produisent une pollution dite photochimique (mesurée par l'ozone), source majeure de pollution en zone urbaine et périurbaine. Les transports routiers (voiture, camions ; autobus ...) contribuent fortement à la pollution. Les principaux polluants émis par les véhicules motorisés sont : l'oxyde de carbone (CO), les hydrocarbures imbrulés (H C), les oxydes d'azotes (NO et NO₂) désigné sous le signe(NO_x) et, pour les véhicules diesels ; les particules. Les composés organiques volatiles (COV) et des chlorofluorocarbones (CFC) (Deletraz, 1998). A Londres par exemple ; les véhicules à moteurs sont responsables de 74% des émissions d'oxydes d'azote et de 94% des fumées noires émises (Deletraz, 2000). Les transports sont responsables de près de 20% des émissions équivalent CO₂ (A.E.E, 2009). Même si la moyenne européenne des émissions de CO₂ sur les voitures a baissé de 25 g/km en 10 ans, cela ne suffit pas à compenser l'augmentation régulière du nombre de véhicules en circulation.

D'une manière générale, le transport routier représente 69 % des émissions de NO_x (oxydes d'azote), 64 % des émissions de CO (monoxyde de carbone) ,33 % des émissions de particules en suspension et 33 % des émissions de CO₂ (gaz carbonique). Il existe des polluants dites des polluants traceurs des rejets automobile, appelé aussi polluant marqueurs caractéristique de pollution routière. Leur présence dans l'écosystème permet de détecter le dépôt et le cheminement de cette pollution.

Les polluants indicateurs de pollution automobiles sont les suivants :

- Les oxydes d'azote
- Le benzène ;
- Steranes et triperpanes pentacycliques ;
- Le plomb ;
- Les Hydrocarbures Aromatique Polycyclique (HAP).

Les quantités de polluants rejetées par chaque véhicules sont appelées « émission unitaire ».

Elles sont sous l'influence d'un ensemble de facteurs qui sont :

- **Type de véhicule** : véhicule particulier (VP), véhicule utilitaire (VU), poids lourd (PL) et catégorie à deux roues.
- **Variations entre les carburants et les diverses technologie** : les moteurs diesels, moteur à essence et la climatisation des véhicules.
- **L'état du véhicule et son entretien** : l'âge du véhicule joue un rôle très important ainsi que son entretien.
- **Niveau de chargement du véhicule** : un véhicule chargé émet une plus grand quantité de polluants puisque sont moteurs doit développer pour atteindre une vitesse plus de puissance que lorsque le véhicule est vide.
- **Condition de circulation** : elle concerne essentiellement les phases d'accélération, de décélération et la durée des arrêts aux feux. Mais la vitesse du véhicule reste l'une des conditions les plus importantes d'émissions de polluants.
- **Route** : elle constitue une variable très importante d'émission de polluants mais deux paramètres sont pris en considération : l'altitude et la pente.
- **Facteurs climatiques** : la température de l'air joue un rôle important puisqu'elle conditionne la durée qu'il faudra au moteur pour atteindre (70°C) lors du démarrage à froid. Le vent, en ralentissant ou en facilitant le déplacement des véhicules constitue autre paramètre influençant les émissions de polluants.

Enfin l'ensoleillement par les rayons UV est déclencheur de la chimie atmosphérique à l'origine de la formation de polluant secondaires, dont l'ozone (SENAT., 2021).

Dans les pays qui ont adopté des législations et des mesures visant à réduire l'utilisation de l'essence sans plomb imposent le pot catalytique aux voitures, le taux de plomb et de gaz toxiques dans l'air a été réduit dans une proportion de 90 à 95 % (Sulaiman et *al.*, 2018). L'Algérie est loin d'être en avance dans ce domaine et le problème, notamment dans les grandes

agglomérations tel que Oran (Rahal, 2005), Skikda (Alioua et *al.*, 2008) ; Annaba (Maizi et *al.*, 2010), ainsi que Constantine (Amri, 2007).

La pollution de l'air, quelle que soient les échelles d'espace et de temps auxquelles nous nous intéressons, fait partie de l'environnement de l'homme. Aussi la compréhension de ses mécanismes et de ses effets nécessite une prise en compte de facteurs techniques et humains qui mobilise des disciplines très variées : physico-chimie, biologie, épidémiologie, toxicologie mais aussi économie, sociologie, psychologie, anthropologie, géographie. Selon des études, la demande en transport augmente avec le développement économique ainsi on compte plus de 3.6 % dans les pays en voie de développement et 1.6 % dans les pays industrialisés en 2020.

Parmi toutes les sources de pollution, le trafic routier est la principale source de pollution de l'air dans les villes. Malheureusement, les modèles disponibles actuellement pour quantifier ce type d'émissions exigent à la fois beaucoup d'efforts, d'argent et de temps. Ils font obstacles à l'étude et à la gestion de la qualité de l'air.

Par conséquent, de nouvelles stratégies pour améliorer la qualité de l'air sont extrêmement difficiles à appliquer. Il est donc nécessaire de développer une nouvelle méthodologie pour quantifier les émissions du trafic routier afin de gérer la qualité de l'air d'une manière plus efficace (Bang Ho, 2010).

1.6.2.3. Agriculture

Selon l'organisation caritative britannique (Christien Aid) : entre 2005-2050, au moins 1 milliard de personnes devront abandonner le lieu où elles vivent en raison de problèmes liés à l'environnement. Effectivement, suite à la pollution de l'air des campagnes, le milieu urbain est presque devenu pour l'espèce animale plus accueillante que les villages et les champs. Les données actuellement disponibles permettent de constater la présence de pesticides dans toutes les couches atmosphériques. On constate que le secteur agricole est l'un des émetteurs de polluants atmosphériques dont les gaz à effet de serre. En France le secteur agricole est responsable d'une partie de la pollution atmosphérique, près de 20% du total d'émission, par l'utilisation de machines, mais aussi à cause du recours aux produits phytosanitaires ou aux épandages (émission d'ammoniac), ainsi l'agriculture est à l'origine de 98% des émissions atmosphériques d'ammoniac qui, en retournant au sol avec les pluies participent fortement aux phénomènes de l'acidification et l'eutrophisation des milieux aquatiques. Le méthane par exemple provient d'une grande partie des élevages de ruminants (Gallon et Flatrès, 2008).

En Algérie, la pollution d'origine agricole par lessivage, est aussi importante en raison de l'utilisation de milliers de tonnes d'engrais chimiques (phosphates, ammonitrates, et potasse). A Constantine par exemple, le problème de la pollution par les nitrates est plus accentué dans les zones des hautes plaines où la pratique de l'irrigation (cultures maraîchères) est de plus en plus intensifiée ces dernières années (Amri, 2007).

1.7. Les différentes échelles de la pollution atmosphérique

On distingue trois types de pollutions : planétaire, régionale et locale. La pollution locale est principalement incriminée car elle a un impact sur l'homme et sur sa santé à plus ou moins long terme, en raison notamment de sa proportion à favoriser de nombreuses maladies.

a. Au niveau planétaire

A cette échelle, le lieu d'émission importe peu : tous les composés émis vont s'accumuler dans l'atmosphère et y persister pendant plusieurs dizaines voire centaines d'années en participant aux impacts planétaire.

La dégradation de la couche d'ozone à très haute altitude (stratosphère), observée depuis quelques années, diminue la protection contre les rayons solaires nocifs et augmente la fréquence d'apparition des mélanomes et autres cancers de la peau. Par ailleurs, l'accroissement de l'effet de serre, dû à l'accumulation de certains gaz (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote...), est responsable du réchauffement climatique (Germain, 2006).

b. Au niveau régional

Les pollutions urbaines ou industrielles peuvent parcourir des distances importantes et impacter les banlieues des agglomérations ou même le milieu rural. Cela concerne particulièrement les polluants dits « secondaires » comme l'ozone (phénomène de pollution photochimique) ou encore les retombées sous forme de pluies acides. Ces retombées peuvent être observées à plusieurs dizaines voire centaines de kilomètres de leur lieu d'émission.

c. Au niveau local

La pollution dite de proximité est principalement due à des sources fixes (panache industriel ou résidentiel) ou mobiles (échappements dus au trafic routier). Elle est souvent associée à des phénomènes perceptibles par la vue ou l'odorat, et les polluants en jeu ont une durée de vie

assez courte dans l'atmosphère. Dans le cas d'activités denses, les niveaux de pollution élevés peuvent couvrir des agglomérations entières.

1.8. Les mécanismes de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est un phénomène très complexe compte tenu de la diversité des polluants susceptibles d'être présents dans l'air. Les niveaux de pollution au sol dépendent de la nature et des conditions de rejets polluants ainsi que des conditions météorologiques qui déterminent le transport, la diffusion et les retombées de ces mêmes polluants. Ces phénomènes ont lieu dans la troposphère qui représente la plus basse couche de l'atmosphère. Les processus qui régissent la pollution atmosphérique s'échelonnent en plusieurs étapes. Tout d'abord s'effectue l'émission des polluants, rapidement suivie de leur dispersion puis de la phase de transformation chimique, qui a lieu au sein même de l'atmosphère (Fig.2).

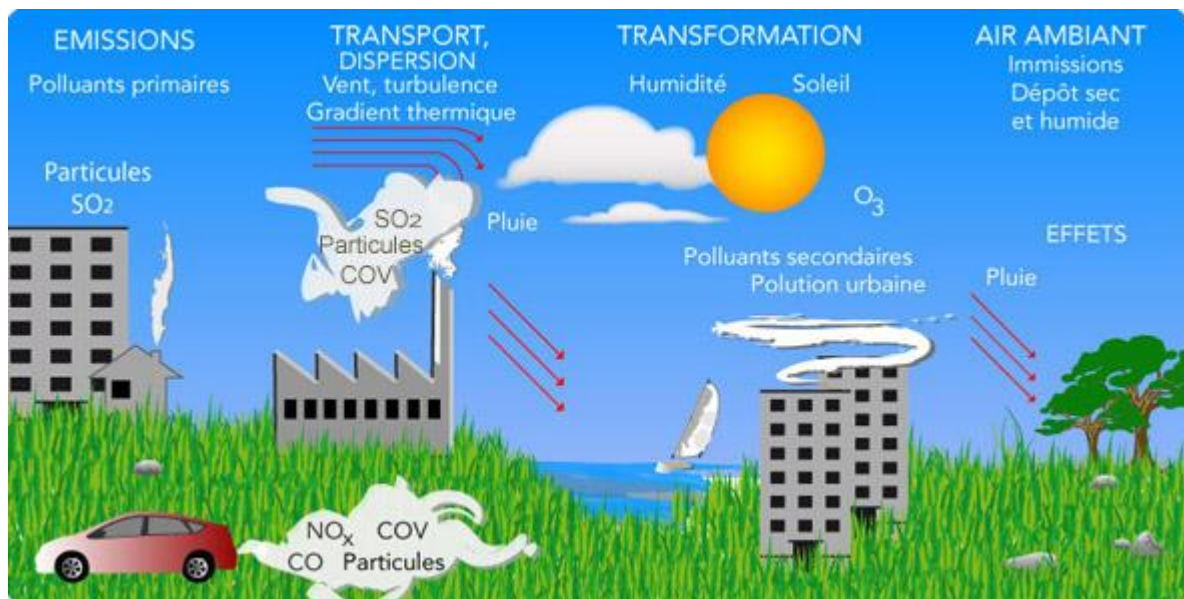


Figure 2 : Mécanismes de la pollution atmosphérique.

(<https://www.scalair.nc/component/content/category/9-scal-air>)

1.8.1. Les émissions

Les émissions de 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 (COV), sont directement émis dans l'atmosphère. Ils proviennent aussi bien des sources fixes (incinération des déchets, chauffage urbains, activités industrielles, domestiques ou agricoles) que des sources mobiles, en particulier les automobiles (Zereini et *al.*, 2012).

1.8.2. Le transport et la dispersion

Les polluants gazeux ou aérosols peuvent être transportés à des distances variables par les vents et les courants atmosphériques. Pendant leur transport, les substances polluantes sont transformées, l'atmosphère fonctionnant comme une véritable usine chimique. La dispersion des polluants dans l'air résulte de nombreux facteurs. Cependant, la qualité de la dispersion influe directement sur la qualité de l'air : si la dispersion est bonne, les concentrations peuvent rester faibles malgré des rejets importants. Par contre, si la dispersion se fait mal, des émissions relativement limitées peuvent suffire à dégrader la qualité de l'air (Deletraz, 2002).

Le phénomène de dispersion est primordial puisqu'il détermine l'accumulation d'un polluant ou sa dilution dans l'atmosphère. La dispersion dépend de plusieurs paramètres dont les conditions météorologiques et la topographie locale (altitude, relief, cours d'eau, bord de mer...).

Deux types de dispersion peuvent être distingués :

- La dispersion verticale, liée au gradient vertical de température de la couche de surface, qui est la couche inférieure de l'atmosphère influencée par la présence du sol.
- La dispersion horizontale, également dénommée transport, liée à la vitesse et à la direction du vent.

Ainsi, une situation anticyclonique, caractérisée par des vents faibles, limite la dispersion horizontale. En hiver, des températures basses et un ciel dégagé favorisent de plus l'inversion du gradient thermique vertical (présence d'air plus chaud en altitude qu'au sol), ce qui diminue la dispersion verticale. Cette situation favorise des niveaux de pollution élevés car elle entraîne une accumulation des gaz, et conduit ainsi à des pics de pollution. A l'inverse, une situation dépressionnaire, généralement associée à des vents plus sensibles, permet une bonne dilution des polluants dans l'atmosphère. De plus, les précipitations, entraînant le dépôt humide des polluants (phénomène de lessivage), contribuent à la diminution des concentrations.

1.8.3. Les transformations chimiques

Au cours de la dispersion, les polluants peuvent se transformer par réactions chimiques complexes pour former les polluants secondaires tels que l'ozone (O₃) et certains COV. Le dioxyde d'azote peut également être considéré comme essentiellement secondaire dans la mesure où les émissions directes des sources, bien que non négligeables, demeurent minoritaires.

La production d'ozone nécessite un fort rayonnement solaire et la présence de certains précurseurs, tels que COV. Des réactions mêlant polluantes primaires et secondaires se produisent alors, la plus courante étant la réaction réversible entre l'ozone et les oxydes d'azote :



Qui a lieu en présence de lumière et pour de fortes concentrations en monoxyde d'azote. Cette réaction peut expliquer l'observation de teneurs en ozone plus faibles dans les agglomérations pendant les heures où le trafic routier est important (destruction de l'ozone par réaction avec le monoxyde d'azote). Alors que les stations périurbaines, situées sous le vent de la ville, connaissent les pointes maximales d'ozone, car en l'absence d'émissions importantes de monoxyde d'azote, les masses d'air polluées transportées s'enrichissent en ozone.

1.9. Les facteurs influant la dispersion des polluants

Aucune des substances polluantes libérées dans la biosphère ne reste en place, dans la plus part des cas, elles émigrent mêmes fort loin du lieu d'émission, (Ramade, 1995).

Les mouvements de l'atmosphère contribuent à la dispersion des polluants. On distingue les vents ; les mouvements ascendants, la température et la pluie, (Popescu et *al.*, 1998).

1.9.1. La température

L'état d'inversion de température est caractérisé par une augmentation de température au fur et à mesure que l'altitude augmente. C'est un état thermique stable que l'on observe généralement par temps clair et ensoleillé. Il est caractérisé par une altitude de début et de fin d'inversion. Lorsque le début coïncide avec le niveau du sol, l'altitude de fin est appelée hauteur de la couche de mélange. En effet, c'est dans l'épaisseur de cette couche d'air stable que se dispersent les polluants émis. Si l'épaisseur est faible, le volume d'air dans lequel les polluants sont dispersés l'est aussi,

et de ce fait, les concentrations rencontrées sont élevées. Il s'agit là de la situation la plus propice aux épisodes de pollution atmosphérique.

Les inversions de température se manifestent sous forme de couvercle appelé « *couche d'inversion thermique* » qui favorise la concentration de divers polluants (COPARLY, 2001).

1.9.2. Le vent

Le vent est l'un des paramètres météorologiques les plus importants pour le transport et la dispersion des polluants. En effet, un flux de polluants va subir, dès son entrée dans l'atmosphère, un transport dont la direction et la vitesse seront fonction de celles du vent, à l'instant considéré. Le vent assure la dispersion horizontale des polluants, mais l'inversion de la température peut créer une situation de stagnation des contaminants localement, cette action peut être renforcée par le vent qui les rabat vers le sol, (Alioua, 2001). Le vent intervient aussi dans la dilution des polluants, d'ailleurs la rose des vents nous est indispensable pour la confection de la rose de la pollution (Tabeaud, 2000).

1.9.3. Les précipitations

Les polluants ne séjournent pas à l'infini dans l'air, les précipitations contribuent à abaisser le niveau de pollution grâce aux gouttes d'eau qui captent les impuretés atmosphériques, (Popescu et al, 1998). Les pluies plaquent les particules au sol et peuvent dissoudre certains polluants. Elles contribuent au lavage ou lessivage de l'air, (Viala, 1998).

1.9.4. L'humidité

Un des principaux rôles de l'humidité est le « captage » des particules polluantes par les gouttelettes d'eau en suspension. En retenant les polluants, elle accroît leur stagnation et peut finir par concentrer ces substances (Deltras et Paul, 1998 ; Dambrine et al., 2001).

1.9.5. La turbulence atmosphérique

La turbulence atmosphérique est un phénomène ayant deux origines distinctes (thermique et mécanique) qui consiste en une irrégularité dans les mouvements du vent et provoque la dispersion des polluants dans l'air (CERTU-CERT, 2010).

1.9.6. La pression atmosphérique

Une basse pression atmosphérique indique une situation dépressionnaire et donc une turbulence de l'air assez forte, ce qui favorise la dispersion des substances polluantes et par conséquent, améliore la qualité de l'air. En revanche, des situations anticycloniques (hautes pressions) où la stabilité de l'air ne permet pas la dispersion des polluants entraînent des épisodes de pollution. (PRQA, 2007).

1.9.7. La nébulosité

La nébulosité est responsable de la formation d'un «couvercle» au-dessus d'une zone polluée. Elle réduit également l'apport radiatif du soleil, ce qui tend à diminuer les transformations physico-chimiques des polluants primaires.

1.9.8. La topographie

Le relief joue un rôle dans la diffusion de la pollution en agissant sur la direction du vent, sur l'humidité selon que l'on est en adret ou en ubac ainsi que sur la température. La stabilité atmosphérique combinée à une topographie complexe empêche la circulation de l'air et donc l'évacuation des polluants (Deletraz et Paul, 1998).

1.10. Généralités sur les métaux lourds

Les métaux lourds, composés stables et hautement persistants, sont des contaminants de l'environnement ; qui peuvent être accumulés et transférés aux organismes supérieurs des réseaux trophiques entraînant de sérieux problèmes écologiques et de santé publique (DeForest et al., 2007, Croteau et al., 2005).

1.10.1. Définition

D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm³ (Adriano, 2001 ; Huynh, 2009) (Tableau 2).

Tableau 2 : Tableau périodique des éléments (Fourest, 1993).

Bloc s												Bloc p						
H		<div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Métaux lourds de densité > 5																He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg	Bloc d										Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Te	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Bloc f															
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Transuraniens			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr		

D'un autre point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques (Anne et Isabelle, 2005 ; Huynh, 2009) :

* Les métaux essentiels sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (Loué, 1993). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe).

* Les métaux toxiques ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd).

Le terme métaux lourds, implique aussi une notion de toxicité. Le terme « éléments traces métalliques » est aussi utilisé pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans l'environnement (Baker et Walker, 1989). Dans ce contexte, nous utiliserons le terme « métaux lourds » dans le sens de l'impact toxique sur les humains et les environnements (Huynh, 2009).

Les métaux lourds peuvent provenir de certains procédés industriels spécifiques dont ceux utilisant la combustion de charbon, de pétrole ou d'ordures ménagères. Ils se retrouvent

généralement dans les particules et poussières sédimentables ou en suspension dans l'air, à l'exception du mercure qui est principalement gazeux. Les métaux lourds peuvent s'accumuler dans l'organisme où ils provoquent, à partir de certaines concentrations, des effets toxiques à court et/ou à long terme. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires (Rapport Scal-air, 2010).

1.10.2. Les différentes sources des métaux lourds

1.10.2.1. Les sources d'origine naturelle

Les réserves les plus importantes en métaux lourds se trouvent dans les roches et/ou les sédiments océaniques, ils sont introduits dans la biosphère via, les volcans, l'activité des sources thermales, l'érosion et l'infiltration....

1.10.2.2. Les sources d'origine anthropique

Une quantité importante de métaux lourds est introduite dans l'environnement par l'homme, cette contamination a plusieurs origines, telles que les gaz d'échappements des véhicules, la combustion des fossiles, l'incinération, l'activité minière, l'agriculture, les déchets liquides et solides.

✓ Les rejets physiques

Concernant essentiellement le plomb et, dans la moindre mesure le cadmium, sont dus à deux phénomènes : D'une part, l'activité métallurgique et minière, d'autre part, les rejets qui sont liés au sort des produits en fin de vie, chargés en plomb, c'est le cas des batteries d'automobiles. Les rejets de mercure liquide sont beaucoup moins importants. Le mercure se retrouve toutefois dans les canalisations en sortie de site d'utilisations (hôpitaux, cabinets dentaires, ...etc.) (Miquel, 2001).

✓ Les rejets atmosphériques

Les métaux représentant des masses importantes dans l'atmosphère, qui se chiffrent par dizaines de tonnes (mercure, arsenic et cadmium), par centaines (Crome) ou par milliers de tonnes (le plomb). Après ratifications du protocole d'Aarhus sur les métaux lourds en 1998 par certains nombre de pays, les émissions atmosphériques des métaux ont diminué de 50% passant de 7356 tonnes à 3336 tonnes, dont près de la moitié pour le Zinc, et un peu plus du tiers pour les autres métaux considérés (Pierre, 2000 ; Miquel, 2001).

1.10.3. Toxicité des métaux lourds

La toxicité des métaux lourds n'est plus à démontrer. La plupart du temps, leurs effets toxiques concernent le système nerveux, le sang ou la moelle osseuse. Ils sont généralement cancérigènes. Donc la nécessité d'éliminer ou de récupérer ces métaux lourds polluants pour l'environnement n'est plus à discuter (Monnet-Tschudi et *al.*, 2006).

1.10.4. Quelques métaux lourds et leurs caractéristiques

L'arsenic

* Propriétés physico-chimie

L'arsenic est principalement présent sous forme de particules composées majoritairement d'oxydes (As_2O_3 , As_2O_5), de sulfures (As_2S_3 , As_2S_5) et de certains composés organiques, comme le mono-méthylarsine (CH_3AsH_2) et le di-méthylarsine ($(CH_3)_2AsH$). Il existe aussi des formes volatiles, telles que l'arsine gazeuse (AsH_3), l'anhydride arsénieux (As_2O_3) ou des espèces organiques méthylées.

* Sources

Les rejets d'arsenic sont imputables à la présence de traces de ce métal dans les combustibles minéraux solides, dans les fiouls lourds et également dans certaines matières premières utilisées dans des procédés comme la production de verre, de métaux non ferreux ou la métallurgie des ferreux.

* Impacts sanitaires et environnementaux

Les différentes formes particulières de l'arsenic dans l'air ambiant peuvent se déposer dans l'appareil respiratoire, passer dans le sang et avoir une action sur de multiples organes. Classé comme cancérigène de groupe 1 par le CIRC l'arsenic est susceptible de favoriser les cancers du poumon et de la peau.

Le cadmium

* Propriétés physico-chimie

Le cadmium se trouve essentiellement sous forme particulaire dans l'air ambiant, la forme la plus courante étant l'oxyde de cadmium.

* Sources

Les principales sources de cadmium sont l'incinération des déchets ménagers, la sidérurgie et la métallurgie des non ferreux (production de zinc notamment). Des progrès importants ont été obtenus en ce qui concerne les émissions de métaux lourds par les installations d'incinération d'ordures ménagères. Dans une moindre mesure, on note également des émissions par les

secteurs résidentiel et tertiaire. La combustion à partir des combustibles minéraux solides, du fioul lourd et de la biomasse engendre une part significative des émissions.

*** Impacts sanitaires et environnementaux**

Le cadmium est un toxique cumulatif, c'est-à-dire que ses effets toxiques sur l'organisme ne s'expriment que lorsque l'accumulation dans les tissus atteint un seuil. Il cause des troubles hépato-digestifs, rénaux, sanguins, nerveux et osseux. Les formes particulières du cadmium sont classées comme cancérogènes de groupe 1 par le CIRC.

Le plomb

*** Propriétés physico-chimie**

Le plomb est essentiellement émis sous la forme de chlorure, de bromure ou d'oxydes de plomb.

*** Sources**

Les sources de plomb dans l'air ambiant sont l'industrie de la fusion de ce matériau, la fabrication de batteries électriques, la fabrication de certains verres (cristal). En métropole, avant l'interdiction du plomb dans les essences en 2000, la principale source était encore le parc de véhicules à essence (810 tonnes par an en 1998). Le plomb dans l'essence était utilisé comme antidétonant, et se retrouvait dans les gaz d'échappement. C'est l'arrêté n°2009-4401/GNC du 29 septembre 2009 relatif aux caractéristiques de l'essence importée pour la vente au détail en Nouvelle-Calédonie qui fixe la teneur maximale de plomb à 5 mg/l.

*** Impacts sanitaires et environnementaux**

Le plomb provoque à forte dose des effets neurologiques aigus, causant à moyen terme le saturnisme.

Le nickel

*** Propriétés physico-chimie**

Le nickel peut se trouver sous des formes particulières et volatiles, comme le nickel carbonyle ($\text{Ni}(\text{Co})_4$).

*** Sources**

De manière générale, les émissions de nickel proviennent de la présence de traces de ce métal dans le fioul lourd. En outre, l'exploitation des minerais nickélifères sur mine et sur site industriel de valorisation laisse penser que ce métal puisse se retrouver dans l'air ambiant sous la forme de poussières sédimentables ou en suspension (CITEPA, 2011).

*** Impacts sanitaires et environnementaux**

Le nickel de type métal est connu pour ses effets allergènes cutanés, notamment à l'occasion de contact avec des objets usuels (bijoux ou pièces de monnaie...). Dans l'air ambiant, le nickel provoque des pathologies de type irritation et inflammation des voies respiratoires. Le nickel métallique a été classé par le CIRC comme cancérigène possible pour l'homme.

Le chrome : provient essentiellement de la production de verre, de ciment, de la métallurgie des ferreux et des fonderies.

Le cuivre : provient majoritairement de l'usure des caténaires induites par le trafic ferroviaire. Le traitement des déchets et la combustion constituent à des degrés divers les principales sources émettrices de cuivre.

Le Zinc : provient de la combustion du charbon et du fuel lourd mais aussi de certains procédés industriels appartenant à la métallurgie des ferreux et non ferreux ainsi qu'à l'incinération des déchets.

Le Sélénium : provient essentiellement de la production de verre. L'utilisation du fuel lourd contribue également aux émissions du fait des traces de ce métal qu'il contient.

Le mercure : le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine très aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante émis en quantité faible, mais toujours trop importante, par la combustion du charbon, du pétrole, la production de chlore, mais aussi par l'incinération de déchets ménagers, hospitaliers et industriels. Dans certaines fabrications (exemple du mercure pour la fabrication d'acide chlorhydrique).

***Origine**

Ces derniers métaux peuvent être présents dans les poussières émises par les foyers de combustion, la circulation automobile, les activités de fabrication et de traitement des métaux (grillage du minerai en particulier), l'incinération des déchets. Le plomb, quant à lui, provenait surtout de l'ajout d'antidétonants dans les essences destinées aux véhicules automobiles.

1.10.5. Contamination de l'environnement par les métaux lourds

*** Contamination de l'air**

Les principales sources de métaux lourds dans l'air sont des sources fixes. De nombreux éléments se trouvent à l'état de traces dans des particules atmosphériques provenant de combustions à haute température, de fusions métallurgiques, des incinérateurs municipaux, des véhicules... etc. Les effets biologiques, physiques et chimiques de ces particules sont en fonction de leur taille, de leur concentration et de leur composition, le paramètre le plus effectif sur l'environnement étant la taille de ces particules. Dans l'air ambiant, on trouve de nombreux éléments, comme le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre... etc., dont la concentration est d'autant plus élevée que les particules sont fines (Fontan, 2003).

*** Contamination des sols**

Les métaux peuvent être, soit fixés dans les roches et les sédiments, soit mobiles. Dans le premier cas, les quantités disponibles sont infimes, elles n'ont aucune influence sur l'environnement. Mais lorsque les conditions changent de telle manière que les métaux redeviennent solubles, l'augmentation de la concentration devient alors une menace directe sur l'environnement. En outre, depuis quelques années, les pluies acides augmentent la mobilité des métaux dans le sol et causent donc une augmentation de leur concentration dans les produits agricoles (Bliefert et Perraud, 2004).

*** Contamination de l'eau**

Il est assez difficile de prévoir l'évolution des métaux lourds dans l'environnement car ils peuvent subir un grand nombre de transformations (oxydation, réduction...etc.). Cette évolution dépend fortement du milieu. En effet, la migration des métaux lourds vers la nappe phréatique est fonction de nombreux paramètres : La forme chimique initiale du métal la perméabilité du sol et du sous-sol, et la teneur en matières organiques du sol.

Les principales sources de contamination de l'eau sont les suivantes : les eaux usées domestiques et industrielles, la production agricole, les polluants atmosphériques, les anciennes décharges, l'utilisation de substances dangereuses pour l'eau, la navigation... (Marcheoiné, 1996).

1.11. Législation et normes de rejet

Au début, la législation s'est intéressée aux polluants majeurs, tels que le dioxyde de soufre (SO₂), l'oxyde d'azote (NO) et les poussières. Des nouvelles réglementations se sont penchées sur le problème des métaux lourds, ceci s'explique par le fait que leurs effets sur l'homme et l'environnement ne cessent d'être mis en lumière, voir éprouvés pour certains.

En effet plusieurs conventions, lois, décrets nationaux et internationaux réglementent cette pollution.

1.11.1. Législation Algérienne

Vu la loi n° 2003-10 du 19 Jomada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, et le décret exécutif n° 2006-02 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. Ce décret consacre les articles ci-après pour la surveillance de la qualité de l'air.

L'Art. 3.- La surveillance de la qualité de l'air concerne les substances suivantes :

- Ø Le dioxyde d'azote ;
- Ø Le dioxyde de soufre ;
- Ø L'ozone ;
- Ø Les particules fines en suspension.

L'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.

L'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.

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

a) Objectif de qualité ou valeur cible : **50** mg/m³.

b) Valeur limite : **80** mg/m³.

Cet article parle aussi des valeurs limites des autres polluants, à savoir le Dioxyde d'azote, le Dioxyde de soufre et l'Ozone.

L'Art. 7- Les seuils d'information et les seuils d'alerte sont fixés sur une base moyenne horaire.

L'Art. 9- Lorsque les seuils d'information et les seuils d'alerte fixés par l'article ci-dessus (Art6) 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.

1.11.2. Législation Internationale

La convention de Genève en 1979 sur la pollution atmosphérique à longue distance a plafonné les émissions de soufre (868 KT en 2000, 770 KT en 2005 et 737 KT en 2010) et a préconisé une réduction des composés organiques volatils non métalliques de 30% (de 1988 à 1999) et une baisse des oxydes d'azote de 30% (de 1980 à 1999).

La première directive du conseil de la communauté Economique Européenne (CEE) a fixé une teneur maximale autorisée en composés de plomb dans l'essence comprise entre 0.4 à 0.15 g par litre (78/611 du 29 juin 1978) (Bliefert et Perraud, 2004).

Le tableau ci-dessous donne les différentes valeurs limites de quelques métaux toxiques dans l'air selon l'OMS et la détective Européenne.

Tableau 03 : Valeurs limites de quelques métaux toxiques dans l'air selon l'OMS et la Directive Européenne (Le Bouffant, 1988).

Métal	Valeur guide OMS	Directive européenne
Cr	-	6ng/m ³
Cd	5ng/m ³	5ng/m ³
Mn	-	-
Ni	20ng/m ³	20ng/m ³
Pb	500ng/m ³	900ng/m ³
Hg	-	50ng/m ³

1.12. Pollution atmosphérique liée aux trafics routiers

Le secteur des transports, en particulier les transports routiers, pèse fortement dans le bilan global des émissions des substances impliquées dans la pollution atmosphérique.

Les substances émises par le trafic routier sont très nombreuses et forment un panache de polluants dans l'air à proximité des axes routiers. Les polluants liés au trafic routier peuvent être classés en deux catégories : les gaz d'échappement et les particules. Les polluants émis directement sont appelés polluants primaires. Parmi ces polluants primaires, certains sont précurseurs de polluants dits secondaires ou photochimiques formés par réactions chimiques dans l'atmosphère.

Les principaux polluants traceurs du trafic routier sont les oxydes d'azote (NO_x), les oxydes de carbone (CO et CO₂), les composés organiques volatils (COV), les particules, les métaux lourds et l'ozone.

On distingue 4 types de pollution qui peuvent être à l'origine de nuisances en milieu routier :

✓ La pollution temporaire

La pollution temporaire est liée aux travaux de construction de la route (poussières rejets d'huile d'engins...). Cette pollution ne sera pas considérée du fait de son caractère ponctuel et antérieur à la mise en service de la route.

✓ **La pollution chronique**

La pollution chronique a un lien direct avec l'utilisation de la route. L'abrasion et la corrosion des matériaux constitutifs des véhicules (pneumatiques, freins, carrosserie), la combustion du carburant, les fuites de divers liquides (huile moteur, antigel), l'usure de la chaussée et la corrosion des glissières de sécurité participent à cette pollution.

✓ **La pollution saisonnière**

La pollution saisonnière est liée à la maintenance des infrastructures routières (entretien hivernal, désherbage des bas-côtés). Ces opérations sont nécessaires au maintien de bonnes conditions de circulation et nécessitent l'emploi de produits qui peuvent présenter des risques pour l'environnement (sels et herbicides). Il est intéressant de considérer la pollution hivernale car les sels peuvent apporter de petites quantités de métaux, augmenter la corrosion des surfaces métalliques (véhicules et glissières). Ils interagissent directement avec les polluants.

✓ **La pollution accidentelle**

La pollution accidentelle est consécutive à un accident de la circulation au cours duquel des matières dangereuses sont déversées avec des conséquences plus ou moins graves selon la quantité et la nature du produit mis en jeu et la sensibilité du milieu récepteur. Du fait du caractère aléatoire et peu probable de ce type de pollution, il est apparu difficile de la prendre en compte ce type de pollution (Mazoue et Gaber, 1994).

1.12.1. Etat générale du secteur transport routier en Algérie

Les derniers chiffres montrent une hausse des transactions des immatriculations et réimmatriculations des véhicules neufs et d'occasions en Algérie de plus de 41.000 unités en 2019, soit 5,11 % par rapport à l'année précédente. La qualité de l'air en milieu urbain continue d'être affectée majoritairement par le trafic Automobile. Effectivement, l'office national des statistiques (ONS, 2020) a évalué, jusqu'au 31/12/2019, le parc automobiles de toute l'Algérie à 6.557.188 tous types confondus, sur ce total les véhicules de 20 ans et plus représentent 44,35% alors que 17,73 sont âgés de moins de 10 ans. (Fig. 3) dont 65,04% sont des véhicules à essence et 34,96% sont des véhicules à gazoil. (Tableau 5).

En dehors de la wilaya d'Alger, qui concentre près de 29% du parc automobile, quatre wilayate ont enregistré plus de 5 000 véhicules neufs soit 19,35%, à savoir Blida, Oran, Sétif et Batna. C'est essentiellement des véhicules de tourisme.

Le tableau 4 présente l'évolution du parc national d'avant 2008 à 2018 selon le genre de véhicule.

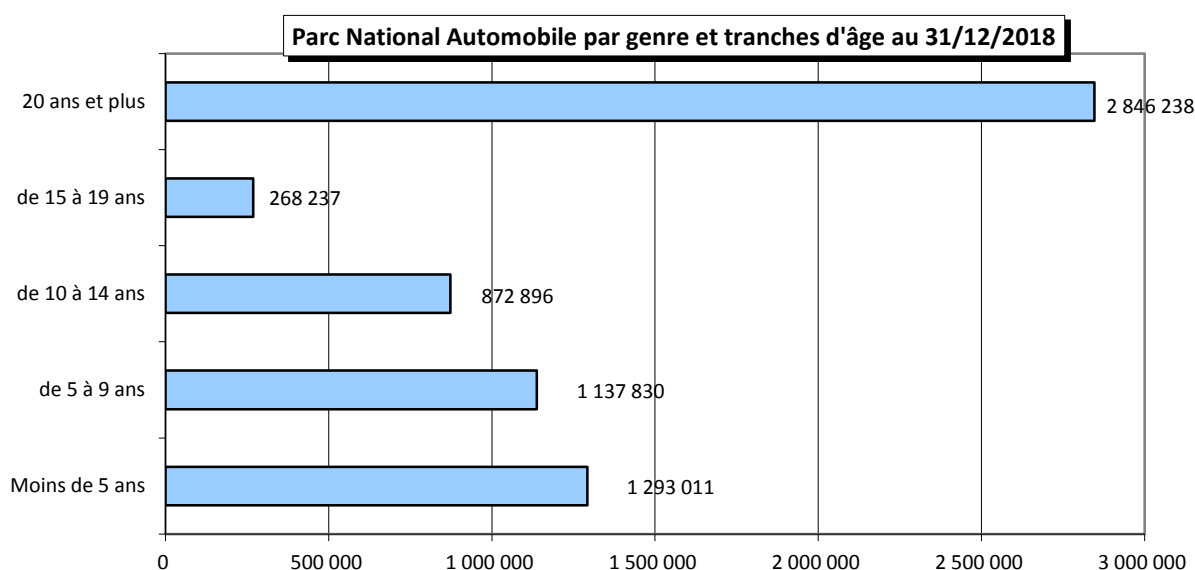


Figure 3 : Parc automobile national selon les tranches d'âge (ONS, 2019).

Tableau 4 : Répartition du parc automobile national selon le genre et l'année de mise en circulation (ONS, 2019).

Année de Mise en Circulation	Véhicule Tourisme	Camion	Camionnette	Autocar/ Autobus	Tracteur routier	Tracteur Agricole	Véhicule Spécial	Remorque	Moto	TOTAL	%
Avant 2008	2 314 287	350 705	781 273	66 460	60 885	131 312	4 634	112 052	12 222	3 833 830	59,73
2008	111 780	7 620	24 956	2 577	2 463	916	43	2 975	211	153 541	2,39
2009	131 237	11 248	31 519	2 761	3 186	1 368	96	3 862	544	185 821	2,90
2010	97 742	5 988	27 198	2 470	2 502	1 386	82	4 281	1 131	142 780	2,22
2011	165 386	7 063	51 130	2 275	2 059	2 454	215	2 770	1 531	234 883	3,66
2012	243 164	7 151	72 714	2 759	2 886	3 417	294	4 104	2 897	339 386	5,29
2013	167 984	5 342	50 204	2 650	1 598	2 930	268	2 553	1 431	234 960	3,66
2014	214 674	8 537	61 134	2 166	2 434	5 025	560	4 762	2 430	301 722	4,70
2015	177 500	5 917	56 579	1 308	2 079	5 495	498	5 183	3 039	257 598	4,01
2016	249 858	3 816	22 047	731	2 717	4 572	329	5 087	13 868	303 025	4,72
2017	111 347	4 054	11 919	585	2 699	3 052	145	3 912	38 649	176 362	2,75
2018	166 082	4 248	13 879	1 226	1 661	2 550	129	2 702	61 827	254 304	3,96
TOTAL	4 151 041	421 689	1 204 552	87 968	87 169	164 477	7 293	154 243	139 780	6 418 212	100

Tableau 5 : Répartition du parc automobile national selon le genre de véhicule et la source d'énergie (ONS, 2019).

GENRE	SOURCE D'ENERGIE				TOTAL
	ESSENCE	%	GAZOIL	%	
VEHICULES DE TOURISME	3 229 336	77,80	921 705	22,20	4 151 041
CAMION	25 098	5,95	396 591	94,05	421 689
CAMIONNETTE	669 845	55,61	534 707	44,39	1 204 552
AUTOCAR/AUTOBUS	4 865	5,53	83 103	94,47	87 968
TRACTEUR ROUTIER	4 809	5,52	82 360	94,48	87 169
TRACTEUR AGRICOLE	8 048	4,89	156 429	95,11	164 477
VEHICULE SPECIAL	1 924	26,38	5 369	73,62	7 293
MOTO	130 243	93,18	9 537	6,82	139 780
TOTAL	4 074 168	65,04	2 189 801	34,96	6 263 969

(*): N'apparaissent pas les remorques et semi-remorques (véhicules tractés).

1.12.2. Différents type des carburants

Un carburant est un combustible qui alimente un moteur thermique. Celui-ci transforme l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique. Les carburants sont principalement constitués d'hydrocarbures (éléments H et C), de composés minéraux (soufre), des métaux (plomb, cuivre). La composition chimique de ces carburants influence grandement leurs propriétés physiques (courbe de distillation, viscosité, densité..) et leurs caractéristiques énergétiques (pouvoir calorifique, indice d'octane ou de cétane, vitesse de flamme).

L'effet de la composition des carburants sur les émissions polluantes peut se mesurer à deux niveaux : le rejet à l'échappement et les pertes par évaporation (au moment du remplissage du réservoir ou à l'arrêt à la saison chaude) (Frederick, 2008).

❖ L'essence

Les essences sont des mélanges complexes de nombreuses substances : antidétonants, antioxydants, inhibiteurs de corrosion, additifs antirouille, agents antigivre, correcteurs de cognement, colorants et lubrifiants pour haut de cylindres. Les essences sur le marché renferment surtout des alcanes C5 à C8 (de 60 à 80 pour cent) et des teneurs moindres de composés aromatiques (de 14 à 33 pour cent) et d'oléfinés (de 6,4 à 13 pour cent).

La composition de l'essence étant assez variable, Certains de ses composants le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes, le plomb et le dichloroéthane (ADEM, 2001).

❖ Le diesel

Les gaz d'échappement des moteurs diesel représentent un mélange complexe de particules, de vapeurs et de gaz. La fraction gazeuse des émissions contient du monoxyde de carbone (CO), du dioxyde de carbone (CO₂), des oxydes d'azote (NO_x), du dioxyde de soufre (SO₂) et des composés organiques volatils (COV). Parmi les COV présents, on retrouve des hydrocarbures non méthaniques, des composés carbonylés comme les aldéhydes ainsi que des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). La fraction particulaire des émissions diesel comprend quant à elle des matières carbonées, habituellement constituées de 75 % de carbone élémentaire (suie) et de 20 % de carbone organique. La proportion des substances présentes varie toutefois grandement selon le type de moteur et le système d'échappement (Sylvain, 2005).

❖ Gaz Naturel Véhicules (GNV)

Le gaz naturel véhicules (GNV) est composé de méthane (CH₄), à plus de 80% (pourcentage variable selon l'origine du gaz). Compte tenu de sa composition simple, il présente l'avantage de pouvoir être utilisé comme carburant sur un moteur à allumage commandé. Naturellement incolore et inodore (une odeur lui est rajoutée par ajout chimique), Le GVN est stocké à l'état gazeux (ADEM, 2001).

❖ Le Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL)

Le gaz de pétrole liquéfié est principalement composé d'un mélange de propane (C₃H₈) et de butane (C₄H₁₀). Il s'agit d'un produit provenant à 50% de l'extraction et du raffinage du pétrole et à 50% des champs de gaz naturel.

Compte tenu des caractéristiques du carburant et de sa composition simple, formée essentiellement de butane et propane, la combustion conduit à priori à des produits plus simples à traiter. Les principaux résultats sur une motorisation fonctionnant correctement sont :

- de faibles rejets de particules toxiques (poussières apparaissant sous la forme de fumées noires) ;
- des rejets infimes de composés aromatiques (qui sont généralement dangereux et quelque fois cancérigènes) ;
- des rejets CO, HC, NO_x qui peuvent être traités efficacement par la catalyse 3 voies.

Ces avantages ont permis à cette filière de prendre place sur le marché des bus urbains, compte tenu des volontés de réduire les émissions polluantes par rapport à un moteur essence ou diesel de :- 30à 65% de NOx et de HC (Leigneil, 2007).

1.12.3. Les métaux lourds

Les sources chroniques d'éléments traces métalliques en milieu routier sont de deux sortes, les véhicules et les infrastructures routières. Les émissions polluantes liées aux véhicules sont dues en partie, à l'abrasion et la corrosion des matériaux solides du véhicule et en partie à l'utilisation de différents fluides. Les principaux matériaux solides considérer sont les pneumatiques, les garnitures de freins et la carrosserie.

L'utilisation de divers fluides comme le carburant, les graisses de lubrification ou l'huile de moteur, contribue également aux émissions polluantes des véhicules (Tableau 6) ;

Tableau 6 : Teneurs en métaux traces de divers fluides (Shaheen, 1975).

Type de fluide	Plomb	Zinc	Cuivre
Huile moteur (g/g)	9	1060	3
Graisse lubrification (g/g)	0	164	0
Antigel (g/g)	6	14	76
Fluide pour les freins (g/g)	7	15	5
Fluide de transmission (g/g)	8	244	0
Essence (mg/L)	501	7,5	3
Gazole (mg/L)	9,1	9,1	6

Les émissions chroniques de polluants liées aux infrastructures routières sont issues de l'abrasion des chaussés et de la corrosion des glissières de sécurité. Ces dernières relarguent d'importantes quantités de zinc comme l'ont montré les études de (Baladés et *al.*, 1984 ; Pagotto, 1999).

Tableau 7 : Flux polluants issus des infrastructures routières estimés par Pagotto (1999).

Polluants	Chaussée (g/véh/km)	Glissières (mg/m/an)
Plomb	0,01-2,4	2,3
Zinc	0,1-4,3	1050
Cuivre	0,08-1,9	0,5
Cadmium	0,0004-0,02	0,17

2.1. Introduction

Développée à partir des années 1960, la biosurveillance végétale de la qualité de l'air présente une alternative intéressante grâce à l'utilisation de bio-accumulateurs pour étudier des espèces résistantes aux stress de pollution (Garrec et Van Haluwyn, 2002). Elle utilise des êtres vivants, pour mettre en évidence les modifications de l'environnement dans lequel ils sont placés (Cuny, 2012). Les méthodes de bio-surveillance fournissent des informations sur la quantité de polluants ainsi que leurs effets sur les organismes en contact.

C'est un bon outil pédagogique pour visualiser l'action agressive d'un polluant sur l'environnement et un moyen d'aborder ses impacts sanitaire. (Markert *et al.*, 2003).

La bio-surveillance 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* ». (Garrec et Van Haluwyn, 2002).

Actuellement, on a besoin d'outils capables d'aborder de manière aussi globale et intégrée que possible le problème de pollution, dans le souci d'améliorer les connaissances et contrôler des phénomènes mis en cause. Le développement de la **bio-indication** ouvre ainsi la voie à une surveillance plus large et écologique, intégrant les effets sur l'environnement grâce à des organismes sentinelles (Athanasopoulou *et al.*, 2016).

2.2. Qu'est-ce qu'un bio-indicateur ?

Les indicateurs biologiques ou bio-indicateurs sont des espèces sensibles, inféodé à un milieu suffisamment restreint pour le caractériser, ou à un état d'un des facteurs du milieu, qu'ils permettent d'identifier par leur apparition ou disparition, informe, sur les conditions du milieu et des dangers potentiels de pollution et permettent ainsi d'apprécier une modification de la qualité d'un milieu. Les bio indicateurs sont des espèces ou des associations d'espèces qui par leur comportement général (variation en nombre, disparition, etc.) sont capables de rendre compte de l'évolution générales d'un milieu.

Blandin (1986) donnait au **bio-indicateur** la définition suivante : « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui - par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques - permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées » (Athanasopoulou et *al.*, 2016).

Alors que Garrec et Van Haluwyn (2002) donnent un sens plus restrictif au terme de bio-indicateur dans la mesure où ils le considèrent comme « un simple relais ne faisant référence qu'à des effets observables au niveau de l'individu se traduisant par des altérations morphologiques, tissulaires ou physiologiques (croissance et reproduction) ».

2.3. Concept de bio-indication

Lagadic et *al* (1998) considèrent que les bioindicateurs sont « *des espèces ou groupes d'espèces qui, par leur présence et/ou leur abondance, sont significatifs d'une ou de plusieurs propriétés de l'écosystème dont ils font partie* ».

L'utilisation des bio-indicateurs peut se faire selon les différentes facettes de la bioindication. Ils peuvent être ; des bio-intégrateurs ou bio-estimateurs, des bio-accumulateurs ou bio-marqueurs. Ces bio-indicateurs à effets écotoxicologiques réagissent à la pollution avec des effets quantifiables ou qualifiables à trois échelles différentes qui ont conduit les spécialistes à distinguer :

2.3.1. Bio-intégrateur

Il se situe au niveau de population, ou communautés d'espèces. Les modifications de la présence et de l'abondance d'une espèce indiquent toute modification de l'environnement de cette espèce, (Fig. 4).

2.3.2. Bio-accumulateur

La bio-accumulation est un phénomène par lequel une substance, présente dans un biotope, s'accumule en surface et/ou pénètre dans un organisme même si elle n'a aucun rôle métabolique, voire même si elle est toxique à ce dernier. Ces bio-indicateurs d'accumulation ou bio-accumulateurs, ont la propriété d'accumuler des polluants par dépôt, adsorption,

absorption, migration, cette propriété sera notamment recherchée pour des polluants toxiques à l'état de trace dans le compartiment atmosphérique.

Deux processus sont responsables de la bioaccumulation de xénobiotiques dans les organismes : d'une part la bioconcentration qui est un transfert direct à partir du milieu environnant et d'autre part la bioamplification qui résulte du transfert de molécules chimiques par voie trophique (Ramade, 1979 ; Amiard et Amiard-Triquet, 1980 in Lagadic et *al.*, 1998). L'accumulation de certains polluants par les organismes bioaccumulateurs facilite leur mise en évidence et leur quantification par des méthodes chimiques et/ou physiques en procédant à l'analyse d'échantillons de ces espèces. Les espèces bioaccumulatrices sont de ce fait employées fréquemment dans les systèmes de surveillance de la contamination de milieux naturels par les micropolluants, notamment au travers de réseaux de bio-surveillance (biomonitoring).

2.3.3. Bio-marqueur

La mesure, au sein d'individus provenant du milieu naturel, de paramètres moléculaires, biochimiques, cellulaires ou physiologiques. Un biomarqueur est un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant (Lagadic et *al.*, 1997a).

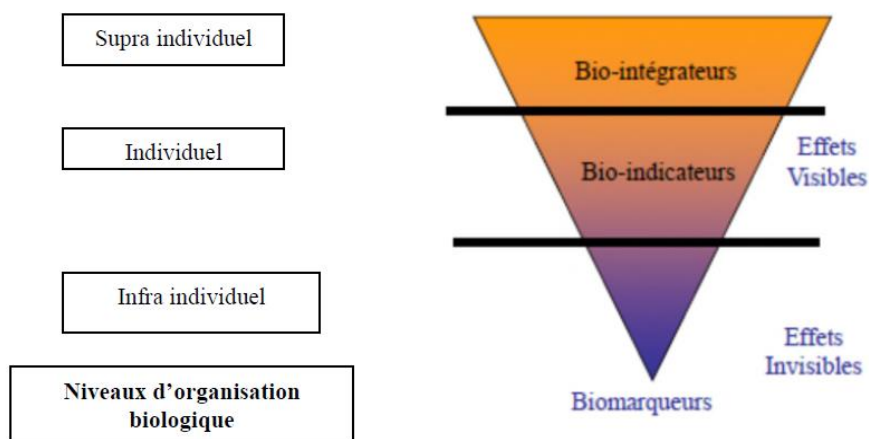


Figure 4 : Concept de Bio-indication (Cuny et *al.*, 2012).

Il est utile de distinguer entre les plantes bioindicatrices et bioaccumulatrices. Les premières sont des espèces qui, dans la présence de teneurs anormales en métaux, sont soumis à des changements morphologiques et/ou physiologiques en raison de conditions de stress; les deuxièmes sont des espèces où les concentrations en métaux sont plus élevées que ceux trouvées dans différentes espèces vivantes dans la même région (Witting, 1993).

Les espèces bioindicatrices sont plus adaptées pour une utilisation dans la surveillance de l'environnement, lorsque les espèces bioaccumulatrices sont utilisées à des faibles concentrations de métaux dans les sols et les eaux (Aceto et *al.*, 2003).

2.4. Stratégie de mise en œuvre de la bio-surveillance

On distingue principalement deux stratégies de mise en œuvre de la biosurveillance :

2.4.1. La méthode *in situ*

La méthode *in situ* ou biosurveillance passive, utilise les organismes déjà présents sur le site (organismes indigènes). Elle a l'avantage d'être rapide. En effet, les végétaux ayant déjà été exposés aux polluants, il ne reste plus qu'à les collecter et à les analyser. On doit cependant veiller à ce qu'ils aient :

- Une distribution spatiale et une abondance suffisante pour être représentatifs de la zone étudiée,
- Une saisonnalité compatible avec les objectifs de la campagne de mesure,
- Un mode de collecte facile,

La densité et la localisation des emplacements de prélèvement devront répondre aux objectifs de l'étude. Les enquêtes à grande échelle couvrant de plus grands domaines exigeront évidemment plus d'emplacements que des études de sources ponctuelles d'émission. Pour ces dernières, les sites d'échantillonnage sont fréquemment choisis le long de transects ou de gradients par rapport à la source de pollution.

Cependant, l'utilisation d'espèces indigènes détermine bien souvent le nombre et la localisation des emplacements.

A l'emplacement de prélèvement, une certaine attention devrait être accordée au substrat, celui-ci pouvant affecter la composition élémentaire de l'espèce étudiée.

2.4.2. La méthode des transplants

La méthode des transplants ou bio-surveillance active, emploie des organismes dit transplantés. Elle peut être utilisée lorsque la méthode *in situ* n'est pas envisageable (absence d'organismes correspondant aux critères de l'étude). Cette dernière nécessite plus de temps.

En effet, il faut laisser le temps aux transplants (organismes provenant d'une zone « saine ») d'accumuler les polluants présent dans leur nouvel environnement, cette phase d'exposition pouvant-être plus ou moins longue selon le type d'organismes choisi et le polluant étudié.

La transplantation est une technique expérimentale où les organismes utilisées pour l'étude sont transférés d'un environnement non pollué (milieu dit 'sain' ; zone rurale) vers un site pollué ou suspecté de l'être. Cette alternative à la méthode *in situ* permet de palier à certain problème comme :

- L'absence d'espèces utilisable dans la zone d'étude (niveau de pollution trop élevé, absence d'habitats fait de l'urbanisation ou de l'industrialisation),
- La mauvaise répartition d'une espèce qui ne permet pas un échantillonnage représentatif de la zone d'étude.

Mais l'avantage principale de la transplantation (Tableau 8) est qu'il permet un total contrôle du temps d'exposition. Pour exploiter les résultats obtenus par la méthode des transplants, les concentrations initiales en polluant (avant la phase d'exposition) doivent être déterminées.

Celles-ci sont souvent retranchées aux concentrations après exposition pour calculer les quantités d'éléments déposées pendant la période d'exposition.

Tableau 8 : Comparaison entre la méthode in situ et la méthode des transplants (Salines et Boudet, 2011).

In situ	Transplants
Les résultats peuvent être obtenus en quelques jours.	Le temps d'exposition des transplants est plus long.
Les résultats démontrent la pollution des années précédentes.	Les résultats illustrent la pollution pendant la période d'exposition.
Les niveaux accumulés sont habituellement au-dessus des limites de détection (temps d'exposition plus long)	Les concentrations accumulées peuvent être indétectables sur une période d'exposition trop courte.
Faible surveillance, peu de risque de vandalisme.	Risque potentiel de vandalisme.
Coûts liés aux transports vers les de prélèvement et aux analyses chimiques.	Coûts supplémentaires relatifs aux matériaux et au temps de préparation des transplants avant exposition.
Manque potentiel d'échantillons indigènes pour obtenir une couverture géographique suffisante.	La densité des points de prélèvement, le nombre de transplants et les conditions d'étude sont contrôlés.
Taux de dépôt de pollution difficiles à estimer.	Les taux de dépôts sont calculés à partir du temps d'exposition qui est contrôlé.
Les concentrations reflètent les influences d'autres facteurs tels que l'âge de la plante, le teneur en métal du substrat et la contamination locale.	Les concentrations des polluants dans les transplants peuvent être plus directement liées à la pollution atmosphérique.
Les plantes peuvent être soumises à un stress ou subir des changements de morphologie/physiologie, qui affectent l'absorption (exposition à certains polluants sur long terme)	Les transplants sont originaires d'environnement sain.

Néanmoins les utilisations de la biosurveillance sont nombreuses et variées :

- Estimation des retombées atmosphériques de métaux à différentes échelles : l'air intérieur des locaux, au niveau local, national et international ;

- Estimation de l'impact autour d'infrastructures routières : études de la qualité de l'air en zone urbaines ;
- Estimation de l'impact d'une installation ; biosurveillance des métaux lourds ;
- Etudes préliminaires (cartographie) en vue d'études classiques ultérieures pour localiser judicieusement les futurs points de prélèvements (pluviomètres, échantillonneur d'air...).
- Identification des sources atmosphérique de métaux lourds par le biais de mousse ou de lichens.
- Etudes rétrospectives (utilisation des sphaignes d'un herbier comme archive du dépôt atmosphérique du plomb (Salines et Boudet, 2011)).

2.5. Organismes utilisés pour la bioaccumulation végétale des éléments traces Métalliques

Actuellement la bioaccumulation des métaux lourds atmosphériques est étudié en utilisant trois grands types d'organismes : les lichens, les mousses et les végétaux supérieurs.

2.5.1. Les lichens

Un lichen est une association symbiotique entre un champignon et une algue (dans la plupart des cas un Ascomycète et une algue verte). Le thalle constitue la partie végétative visible et porte les organes reproducteurs. En fonction de sa forme, on distingue différents types de thalles : crustacés, foliacés, lépreux, fruticuleux, ou encore gélatineux. Le champignon fournit l'eau et les sels minéraux ainsi qu'une protection à l'algue, qui est capable de synthétiser de la matière organique via la photosynthèse. Les lichens sont des organismes poïkilohydriques, c'est-à-dire que leur humidité dépend de celle de l'environnement. Ils sont pérennes, dépourvus de cuticule, de stomates et de racines, ce qui les rend exclusivement dépendants de l'atmosphère pour leur nutrition.



Figure 5 : Les différents types de Thalle.

(<https://www.visoflora.com/photos-nature/photo-punctelia-borreri-1.html>)

N'ayant pas de moyen de protection vis-à-vis des polluants, ils absorbent les éléments traces métalliques présents dans l'air en même temps que les éléments qui leur sont nécessaires, et les accumulent dans leurs tissus. Ces mécanismes d'accumulation ont été décrits et synthétisés dans diverses publications notamment par Garty (2001). Selon cet auteur, les éléments traces métalliques se déposent à la surface des lichens sous forme de particules sèches ou, lors de précipitations sous forme humide (particules et/ou éléments dissous dans l'eau). Les particules retenues à l'intérieur du thalle s'y désagrègent progressivement, et les éléments relégués se fixent sur les sites chargés extracellulaires (pariétaux et membranaires, généralement des groupes carboxyliques). Les formes ioniques se fixent très rapidement sur des sites pariétaux extracellulaires (du type carboxyliques par exemple). Ces éléments ainsi adsorbés sont rapidement échangeables, donc les quantités ainsi fixées reflètent les expositions récentes. Cependant, lorsque les éléments se trouvent sous forme de particules insolubles, ils n'en sont que très lentement extraits. Ainsi, ils sont accumulés dans les thalles selon les quantités de particules dans l'atmosphère et la période d'exposition (Bergamaschi et al., 2007), en fonction de leur spéciation dans les thalles, les éléments peuvent pénétrer au sein des cellules par des mécanismes actifs et passifs.

D'après Cuny et al (2002), les lichens colonisent un grand nombre de milieux et de supports, notamment l'écorce des arbres (lichens épiphytes). Leur observation peut donc être réalisée sur de vastes territoires, avec une densité importante de points. Toutes ces caractéristiques ont fait

que les lichens ont été l'objet de très nombreuses recherches concernant la pollution atmosphérique en général et la contamination par les éléments traces métalliques en particulier Loppi et al (1999 ; 2004).

Bargagli (1998) dresse une liste des espèces lichéniques utilisables comme bio-accumulateurs des métaux lourds, en fonction de leur écologie et de leur tolérance à la pollution de l'air. Ainsi, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata* ou encore *Xanthoria parietina* sont des lichens à large distribution assez résistants à la pollution de l'air, pouvant être récoltés en environnement urbain, au contraire d'espèces comme *Evernia prunastri* et *Pseudevernia furfuracea* qui sont plus sensibles. Même si un nombre minimal d'espèces se retrouvent toujours sur le terrain, le choix de l'espèce se fait en fonction de la disponibilité des lichens et des caractéristiques écologiques de la zone d'étude. Ainsi, *Hypogymnia physodes* est largement utilisée dans les pays scandinaves ou d'Europe de l'Est, alors qu'en Algérie ce sont les espèces *Xanthoria parietina* (Maatoug et al., 2010).

2.5.2. Les mousses

Les mousses sont des végétaux de forme thalloïde, qui ne possèdent pas de racines, mais des rhizoïdes qui permettent leur ancrage, mais n'interviennent pas dans l'absorption d'eau. Leur cuticule mince est généralement dépourvue de cires. Les mousses absorbent donc directement l'eau et les éléments nutritifs, mais aussi les polluants présents dans les dépôts atmosphériques humides ou secs. Ces végétaux possèdent un rapport surface sur volume élevé, ce qui induit une forte accumulation des polluants atmosphériques par rapport à d'autres végétaux. Les mousses possèdent également une capacité d'échange cationique élevée, ce qui intensifie l'accumulation des polluants minéraux comme les métaux lourds (Wegener et al., 1992).

De par l'absence de système racinaire et de cuticule bien développée, le substrat a peu d'influence sur les niveaux de contaminants dans leurs tissus, et le piégeage des polluants se fait très facilement. L'accumulation des polluants se fait principalement via des mécanismes d'échanges cationiques, avec une très faible résistance à la diffusion des éléments absorbés. L'architecture des mousses et leur grande capacité d'échanges permettent une bonne accumulation des particules (Amblard-Gross et al., 2002 ; Fernandez et al., 2002). De plus, les mousses sont particulièrement résistantes aux substances toxiques qu'elles accumulent, notamment aux éléments traces métalliques, ce qui en fait des organismes adéquats pour la bio-surveillance de ceux-ci (Krommer et al., 2007).

Dans les années 1980, les premières cartes d'estimation des dépôts atmosphériques métalliques par l'analyse de mousses sont établies par le Danemark et la Suède (Gydesen et al., 1983 cité par Van Haluwyn, 2009). Certains auteurs concluent que les mousses seraient plus performantes pour le piégeage des éléments traces métalliques présents dans les dépôts humides et grossiers, que pour l'accumulation des dépôts secs (Sucharova, 1998). Cependant, des travaux plus récents montrent que la morphologie de la mousse est très importante par rapport à la granulométrie des particules. On peut distinguer deux types de morphologies. Les mousses pleurocarpes sont généralement disposées à plat, entremêlées et très ramifiées. A cause de leur nature ectohydrique, elles piègent les éléments et nutriments directement à partir des dépôts secs et grossiers. Au contraire, les mousses acrocarpes sont le plus souvent dressées, touffues et peu ramifiées. Bien qu'ectohydrique, elles sont plus tolérantes à une sécheresse prolongée que les pleurocarpes, et sont capables de survivre dans des environnements relativement hostiles (en bord de route, près des usines, ou en ville). Ainsi, les mousses acrocarpes seraient les plus aptes aux dépôts secs, et les genres *Bryum*, *Tortula* et *Ceratodon* sont les plus utilisés actuellement (Rzepka et Cuny, 2008).

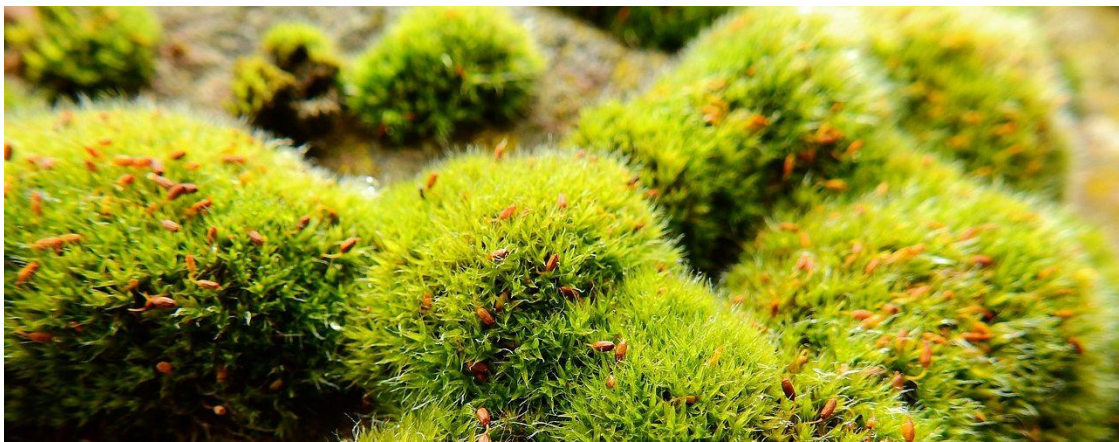


Figure 6 : Mousses bio-accumulatrices de pollution atmosphérique.

(<https://www.humidite.be/blog-traitement-protection-batiment/item/20-comment-se-d%C3%A9veloppe-la-mousse-sur-une-toiture.html>)

Par ailleurs, Pesch et al (2006) ont montré que les paramètres climatiques et les caractéristiques écologiques régionales influencent l'accumulation des éléments traces métalliques dans les mousses. En outre, les mousses peuvent aussi être utilisées comme biointégrateurs pour estimer la qualité globale de l'air en observant la distribution qualitative et quantitative des mousses épiphytes (Krommer et al., 2007).

2.5.2.1. Mécanisme de piégeage des particules de l'air et des métaux lourds

Depuis les premiers travaux de Tamm (1953) puis de Rühling et Tyler (1970 ; 1973), les mousses sont des indicateurs couramment utilisés dans le suivi du dépôt atmosphérique métallique (Zechmeister et *al.*, 2003a ; Onianwa, 2001). Suivant les propriétés physico-chimiques des contaminants, les éléments captés par le brin de mousse vont être différemment localisés au niveau cellulaire. Quatre localisations sont ainsi distinguées (Brown et Bates, 1990 ; Chakraborty et Paratkar, 2006) :

1. à la surface du brin, par immobilisation des composés particulaires entre les feuilles ;
2. dans l'espace intercellulaire, sous forme d'ions libres ;
3. à l'extérieur de cellules, fixées à des ligands présents dans la paroi cellulaire ;
4. à l'intérieur des cellules.

La fixation des particules est affectée par la taille de ces dernières et la structure de surface des mousses. L'échange d'ions est un processus physiologique et chimique rapide qui est affectée par le nombre et le type de sites d'échange de cations libre, l'âge des cellules, leur réaction à la dessiccation, condition de croissance, la température, les précipitations, le pH, la composition des polluants, et la lixiviation (Tyler, 1990). Dans le procédé d'échange d'ions, cations et anions deviennent attachés à des groupes organiques fonctionnels de la paroi cellulaire essentiellement par chélation (Rao, 1984).

La composition chimique de dépôt a un grand effet sur l'accumulation des polluants, car l'efficacité de l'absorption des mousses pour les éléments individuels varie considérablement (Berg et *al.*, 1995 ; Zechmeister et *al.*, 2003b). Une forte proportion de la charge polluante accumulée dans les mousses par un dépôt humide. La quantité, la durée et l'intensité de la précipitation et l'accumulation affectent lixiviation (Berg et *al.*, 1995). La contribution de l'augmentation des dépôts secs sur le déplacement de l'humide au climats arides (Couto et *al.*, 2004). Il existe des différences considérables dans le lessivage des éléments selon qu'ils sont liés à la paroi cellulaire, ou accumulés sur la surface des mousses (Čeburnis et Valiulis, 1999).

L'efficacité d'absorption est aussi affectée par la concurrence pour les sites d'échange de cations libre ; par exemple, la présence des sels de mer et des dépôts acides a un effet sur l'absorption de métaux par des mousses (Gjengedal et Steinnes, 1990). Le type de végétation et de la

poussière du sol ont également ont été signalés comme cause des différences régionales en matière d'efficacité d'absorption (Čeburnis et *al.*, 1999).

En général, la meilleure corrélation a été trouvée entre les concentrations dans les mousses et les dépôts humides, pour les éléments qui ont une grande efficacité de l'absorption de dépôt humide (par exemple, Pb, Cd, Co, Cu) (Ross, 1990).

2.5.2.2. Facteurs influent sur les concentrations de métaux traces dans la mousse

Les mousses épiphytes sont considérées comme des organismes de biosurveillance, cela est, en grande partie, due à l'absence de racines en les comparons avec les plantes supérieures.

Ainsi, elles obtiennent leur approvisionnement en minéraux uniquement de sources aériennes et non du substrat (Martin et *al.*, 1982).

En plus des polluants atmosphériques qui proviennent des sources anthropiques, les concentrations de ces polluants dans les mousses sont affectées par de nombreux autres facteurs «naturels» associés aux propriétés morphologiques et physiologiques des mousses, et l'endroit où les mousses croient.

Il existe des différences naturelles dans la composition chimique entre les espèces de mousses et même au sein de la même espèce (Thöni et *al.*, 1996). De petites quantités de nutriments peuvent passer du substrat vers les mousses (Økland et *al.*, 1999), la translocation des nutriments peut également être dans différentes parties de la mousse (Brūmelis et Brown, 1997). Les particules minérales provenant du sol et du socle rocheux augmentent également les concentrations Fe, Cr, Al et Ti dans les zones qui ont une végétation clairsemée, un climat aride, ou exposé à un sol minéral (Mäkinen, 1994). D'autres facteurs affectant les concentrations suivantes (Steinnes, 1993 ; Ford et *al.*, 1995 ; Zechmeister, 1995; DeCaritat et *al.*, 2001 ; Gerdol et *al.*, 2002):

- Lixiviation à partir des couches de végétation situées au-dessus des mousses
- Le statut nutritif du site.
- L'eau «fonte des neiges »
- zone de végétation
- L'altitude a un effet en raison de changements dans la quantité de précipitations, de la poussière ou de la production de biomasse.

- L'âge de la mousse. La constatation que les pièces plus âgées de mousses, ont une concentration plus élevée des métaux, a conduit à l'hypothèse que les plantes fournissent un enregistrement historique et interactif de l'alimentation en métal dans l'environnement.

2.5.3. Les végétaux supérieurs

Les polluants atmosphériques métalliques pénètrent généralement chez les végétaux supérieurs dans les feuilles par les stomates, les polluants particulaires étant le plus souvent stoppés et localisés à la surface des feuilles au niveau de la cuticule et des cires. En ce qui concerne l'étude de la bio-accumulation par les végétaux supérieurs et particulièrement les arbres et les arbustes dont la plupart sont des espèces ornementales situées au centre villes ou aux alentours.

Les principaux critères d'un bon bioaccumulateur des éléments traces métalliques atmosphériques sont : sa large représentation dans la zone d'étude, sa grande distribution géographique, sa facilité d'échantillonnage et d'identification, mais surtout la possibilité de faire la différence entre les dépôts atmosphériques et le piégeage racinaire (Palmieri et *al.*, 2005).

De par leur dépendance exclusive vis-à-vis de l'atmosphère, les lichens et les mousses sont donc considérés comme les meilleurs bio-accumulateurs. Cependant, dans les environnements fortement dégradés où la pression anthropique élevée provoque la raréfaction de ces organismes (Tomasevic et *al.*, 2005 ; Berlizov et *al.*, 2007 ; Gratani et *al.*, 2008), certains végétaux supérieurs qui persistent peuvent être utilisés comme bio-accumulateurs.

Ainsi, Bargagli (1998) dresse une liste des espèces végétales qui peuvent servir aux études de bio-surveillance des éléments traces métalliques. Parmi celles-ci figurent notamment le tilleul, le bouleau (le chêne (*Quercus ilex*), le peuplier (*Populus sp*), le pin (*Pinus halepensis* Mill), le platane (*Platanus acerifolia*) et le cyprès vert (*Cupressus sempervirens*).

Les espèces sont choisies en fonction de la localisation et de l'échelle de la zone d'étude. Par exemple, le platane et le cyprès, sont adéquats pour les études locales, en zone rurale ou industrielle, alors que lors de campagnes régionales, le bouleau, le chêne, ou l'aulne sont plus

indiqués en zone urbaine. Des études peuvent également être réalisées en forêts dans l'hémisphère Nord, sur les aiguilles de pins ou les feuilles de hêtre (Bargagli, 1998).

De plus, elles sont résistantes aux substances toxiques qu'elles accumulent (Pignata et al. 2002). Le cyprès et le platane également ont fait l'objet d'une utilisation en approche passive, dans le cadre d'études à Tiaret (Maatoug et al., 2007). Le plus souvent, l'étude de l'accumulation se fait sur les feuilles. En effet, les particules se déposent en surface sous forme de dépôts secs ou humides (pluie, neige, ou brouillard), par gravité et par impaction sous l'effet du vent et peuvent ensuite être retenues en surface (Breulmann et al., 2002, Gratani et al., 2008). Mais les particules peuvent aussi se retrouver dans le sol, après le lessivage par les pluies, et être absorbées par les racines puis circuler jusqu'aux feuilles (Breulmann et al., 2002), ce qui rend l'utilisation des végétaux supérieurs en tant que bioaccumulateurs plus complexe.

Des auteurs ont développé différentes stratégies pour évaluer la part des éléments traces métalliques réellement imputable aux dépôts atmosphériques. Par exemple, le lavage des feuilles permet de comparer la quantité d'éléments captés par les racines (mesurée dans les feuilles lavées) à celle des éléments piégés par voie racinaire et foliaire (mesurée dans les feuilles non lavées), et d'en déduire la part imputable aux dépôts atmosphériques. Une autre stratégie consiste à comparer les quantités d'éléments retrouvés dans les feuilles, le bois, et l'écorce.

Rossini Oliva et Mingorance, (2006), ont démontrés que les concentrations de métaux lourds retrouvées de dans l'écorce et les feuilles de Pin (*Pinus Halepensis*) et de Laurier rose (*Nerium oleander*) sont considérablement supérieures à celles dosées dans leur bois. Ce dernier, est un élément interne, qui accumule principalement les éléments provenant du sol, au contraire des feuilles et de l'écorce qui sont exposées aux particules atmosphériques. Le ratio des concentrations dans l'écorce et les feuilles par rapport à celle dans le bois permet de déduire la part de la contamination atmosphérique directe. Dans les endroits très pollués, notamment par le plomb, où les lichens, mousses et feuilles d'arbres sont rares ou inaccessibles, les écorces peuvent être utilisées seules comme bio-accumulateurs. Les particules s'y déposent sous forme de dépôts secs, et par impaction sous l'effet du vent.

D'après Maatoug et al., (2007), le rapport matière fraîche/matière sèche (MF/MS) est l'un des indicateurs de la santé d'un végétal dans une région donnée. En effet, plus l'air est sain, plus le développement du végétal est normal (le poids de la matière fraîche est normal) ; par contre, si

l'air est contaminé, le développement du végétal est perturbé, entraînant des chloroses, des nécroses, etc., au détriment de la matière fraîche. Le rapport MF/MS d'une zone polluée est inférieur à celui enregistré dans une zone non polluée.

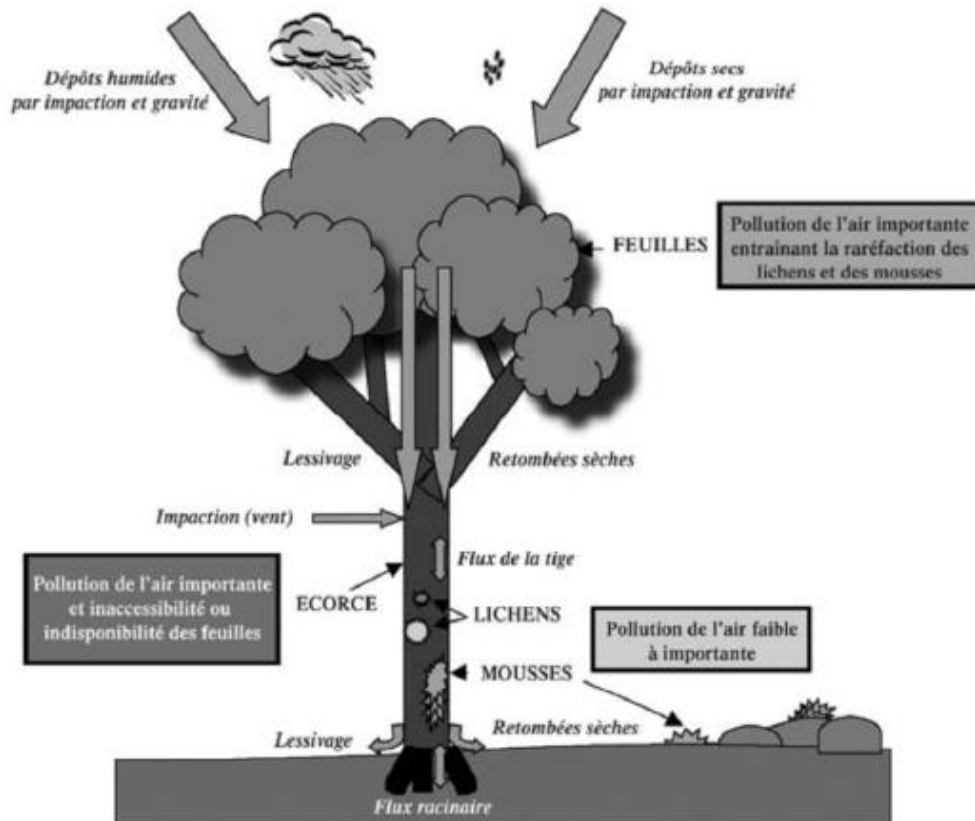


Figure 7 : Présentation schématique des taxons bioaccumulateurs d'ETM et des paramètres régissant les phénomènes d'accumulation (illustration inspirée des schémas de Bargagli, 1998).

Les capacités d'accumulation varient en fonction de l'espèce d'arbre, l'épaisseur, la porosité et la rugosité de l'écorce. Chaque nouvelle couche constituant l'écorce est isolée par rapport à l'intérieur du tronc, et il n'y a pas de phénomènes de translocation, ce qui convient bien pour l'étude des tendances spatiotemporelles. En outre, les transports des éléments à partir des racines vers l'écorce peuvent être considérés comme négligeables (Bargagli, 1998).

Cependant, Berlizov et al. (2007) soulignent que cette faible part d'éléments traces métalliques provenant de la nutrition racinaire constitue un bruit de fond qu'il est préférable d'évaluer. Généralement, quelle que soit l'espèce d'arbre considérée, les écorces sont meilleures accumulatrices de plomb, cuivre, cadmium et de zinc que les feuilles, et sont utilisées dans les

études à proximité de hauts fourneaux, mines d'extraction, routes très fréquentées ou autres environnements lourdement pollués. L'âge de l'écorce diminuant avec la profondeur, il est aussi possible de réaliser des historiques en subdivisant les échantillons d'écorce dans le sens du rayon pour évaluer les changements dans le temps (Bargagli, 1998).

Enfin, la dendrochimie peut être une troisième approche possible de bio-surveillance grâce aux arbres. Elle se base sur l'analyse chimique des cercles de croissance annuelle, constitués du nouveau bois produit au cours du printemps et de l'été. Cette démarche postule que la constitution chimique des incréments annuels de bois reflète la chimie de l'environnement dans lequel ils se forment, ce qui permet de faire des historiques de la pollution. Mais ces études rétrospectives supposent que les éléments traces métalliques soient absorbés proportionnellement à leur abondance dans l'environnement, sans remobilisation ultérieure, et que leur profil de distribution soit stable et similaire dans les différentes parties du tronc. Ces paramètres étant difficiles à vérifier sur le terrain, la dendrochimie fait l'objet de peu d'applications, mais reste d'actualité.

3.1. Pin d'Alep

Les pins du groupe "halepensis" représentent un capital forestier majeur sur le pourtour de la Méditerranée. D'après Houerou (1980) ils occupent en effet environ 6,8 millions d'hectares et du point de vue des surfaces ne sont surpassées que par les chênes sclérophylles et caducifoliés (environ 8 millions d'hectares chacun). Ces pins offrent par ailleurs, des exigences écologiques très modestes pour des productivités faibles mais acceptables, ce qui a entraîné les forestiers à les utiliser à très grande échelle comme essences de reboisements.

3.1.1. Description de l'espèce

Les aiguilles du pin d'Alep sont disposées par 2 sur le rameau. Elles sont fines, souples, d'un vert clair et longues de 6 à 10 cm.

Cette essence forestière est l'une des plus typiques et les plus importantes du midi méditerranéen. Elle peut atteindre 20 mètres de hauteur et possède un tronc souvent penché et tortueux, à la cime irrégulière et peu dense.

C'est les cônes qui le sont ovoïdes mesurés de 6 à 12 cm de long. La dispersion des graines se réalise dès le début de la troisième année.

Les cônes secs demeurent ensuite sur l'arbre pendant plusieurs années.



Figure 08 : Les aiguilles et cônes de pin d'Alep.

3.1.2. Taxonomie du pin d'Alep

Le genre *Pinus*, appartenant à la famille des Pinacées (Abiétacées), est divisé en trois sous-genres qui sont *Pinus*, *Ducampopinus* et *CembraPinus*.

Ces sous-genres sont divisés en sections. L'espèce *Pinus halepensis* Mill. Fait partie de la section Halepensoïdes qui est divisée en trois groupes parmi lesquels le groupe *halepensis* qui se caractérise par des feuilles à deux aiguilles et à cônes caducs (Nahal, 1962).

Selon Farjon (1996), le Pin d'Alep "*Pinus halepensis* Mill' est l'essence caractéristique de l'étage bioclimatique méditerranéen semi- aride, il appartient à :

* **Embranchement** : Phanérogames.

* **Sous embranchement** : Gymnospermes.

* **Classe** : Conifères.

* **Ordre** : Coniféroles pinoidines.

* **Sous ordre** : Abiétales.

* **Famille** : Pinacées.

* **Genre** : *Pinus*.

* **Sous genre** : *Eupinus*.

* **Espèce** : *Pinus halepensis*.

* **Nom scientifique** : *Pinus halepensis*.

* **Nom commun** : pin d'Alep

* **Nom arabe** : Sanaoubar al-halabi

3.2. Répartition géographique du pin d'Alep

C'est une espèce largement rependue sur le pourtour méditerranéen, où son aire de répartition a été précisée par de nombreux auteurs et en particulier par Nahal (1962). C'est une essence fréquente surtout en région méditerranéenne occidentale, mais qui se rencontre également en divers points du bassin méditerranéen oriental. Ses forêts occupent sans doute au total plus de 3,5 millions d'hectares.

Les pays du Maghreb constituent la zone où il offre son plus grand développement puisqu'on le rencontre à peu pros partout sur les massifs montagneux, l'exception cependant du Maroc atlantique ainsi que des zones littorales du Tell constantinois et de Kroumirie.

Au Maroc, le pin d'Alep est rare (Emberger, 1939). Il constitue toutefois quelques peuplements généralement isolés sur le pourtour des grands massifs montagneux et en particulier du Rif où il est relativement fréquent sur le versant méditerranéen du Moyen-Atlas (régions d'Azrou, Ahermoumou et versant moufouyen des hautes chaînes orientales), et aussi du Haut Atlas où il est assez répandu dans les vallées internes du versant septentrional jusqu'au sud-ouest de Marrakech. Il existe encore en quelques colonies isolées sur le versant saharien de la chaîne. Il forme enfin quelques peuplements dans le Maroc Oriental et en particulier sur les monts de Debdou.

En Algérie (Kadik, 1983) et en Tunisie, le pin d'Alep est très fréquent sur tous les massifs montagneux, du Tell littoral à l'Atlas Saharien, et s'il a souvent été fort maltraité par l'homme il en reste néanmoins de vastes peuplements en Oranie (régions de Bel Abbès, Saida, Ouarsenis), dans l'Algérois (Medea-Boghar, Monts de Bibans, Monts des Ouled Naïl), et dans le Constantinois (Aurès, région de Tébessa surtout).

En Tunisie c'est lui qui colonise essentiellement les monts de la dorsale tunisienne.

En Espagne il est bien développé sur les chaînes littorales de Catalogne, de la région de Valence et de Murcie ; par contre, il est moins fréquent en Andalousie. Vers l'intérieur il existe en colonies disjointes dans la haute vallée du Tage ainsi que sur tout le pourtour de la vallée de l'Ebre. Il est présent dans toutes les Iles Baléares.

En France, le pin d'Alep est assez peu répandu et éparpillé à l'ouest du Rhône mais beaucoup plus fréquent en Provence. Il remonte dans la vallée du Rhône jusqu'aux environs de Montelimar.

En Corse, il n'existe, avec une spontanéité douteuse, que dans la région de Saint-Florent.

En Italie, le pin d'Alep n'est jamais abondant ; il s'observe çà et là, notamment dans le sud et en de rares localités de Sicile et de Sardaigne.

Dans les Balkans, il est présent sur le littoral adriatique surtout au Sud de Split et réapparaît en abondance en certaines zones de la péninsule hellénique notamment dans le Péloponnèse nord-occidental, en Attique, en Eubée et en Chalcidique occidentale.

Au proche orient, en Turquie, il n'a été signalé avec certitude qu'au nord-est d'Adana (Quezel et Pamuckcuoglu, 1973). En Syrie, quelques peuplements existent sur le revers Ouest de la chaîne des Alaouites (Barbero *et al.*, 1976).

Sur le littoral libanais, il se trouve çà et là (Abisaleh et *al.*, 1976). En Palestine et en Jordanie, il forme quelques massifs importants. En Lybie, il existe quelques localités en Cyrénaïque littoral.

L'importance des surfaces occupées par *Pinus halepensis* dans quelques pays méditerranéens est mentionnée dans le tableau suivant :

Tableau 09 : Répartition du pin d'Alep dans quelques pays méditerranéens.

(Bentouati, 2006)

Pays	Superficie (ha)	Source
Algérie	852.000	Mezali (2003)
Maroc	65.000	Bakhiyi (2000)
Tunisie	170.000 à 370. 000	Chakroun (1986), Ammariet <i>al.</i>
France	202.000	Couhert et Duplat (1993)
Espagne	1.046.978	Montéro <i>et al.</i> (2001)
Italie	20.000	Seigue (1985)
Grèce	330.000	Seigue (1985)

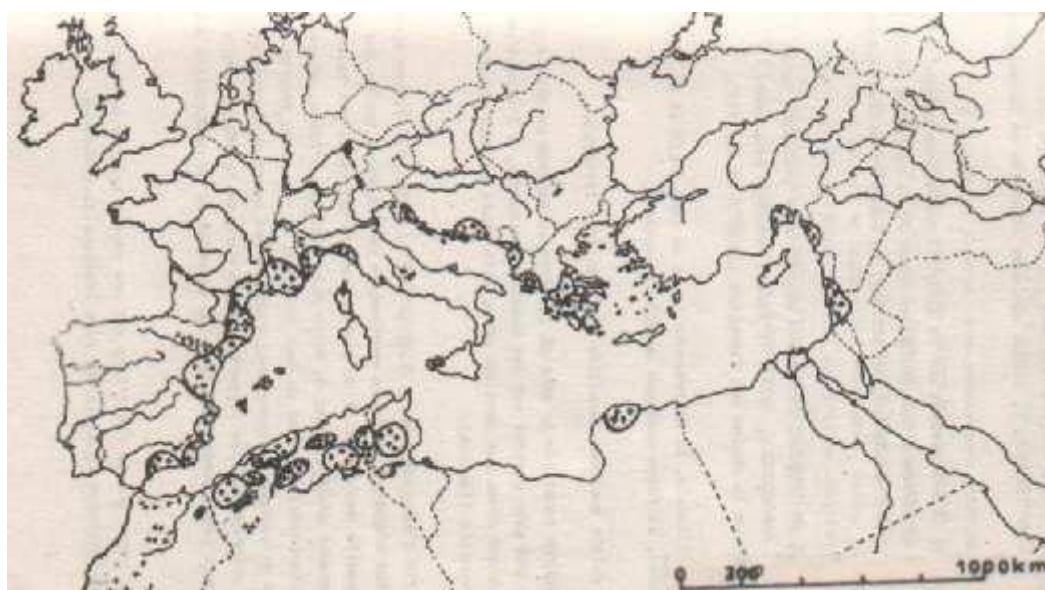


Figure 09 : Aire de répartition du Pin d'Alep (Kadik, 1987).

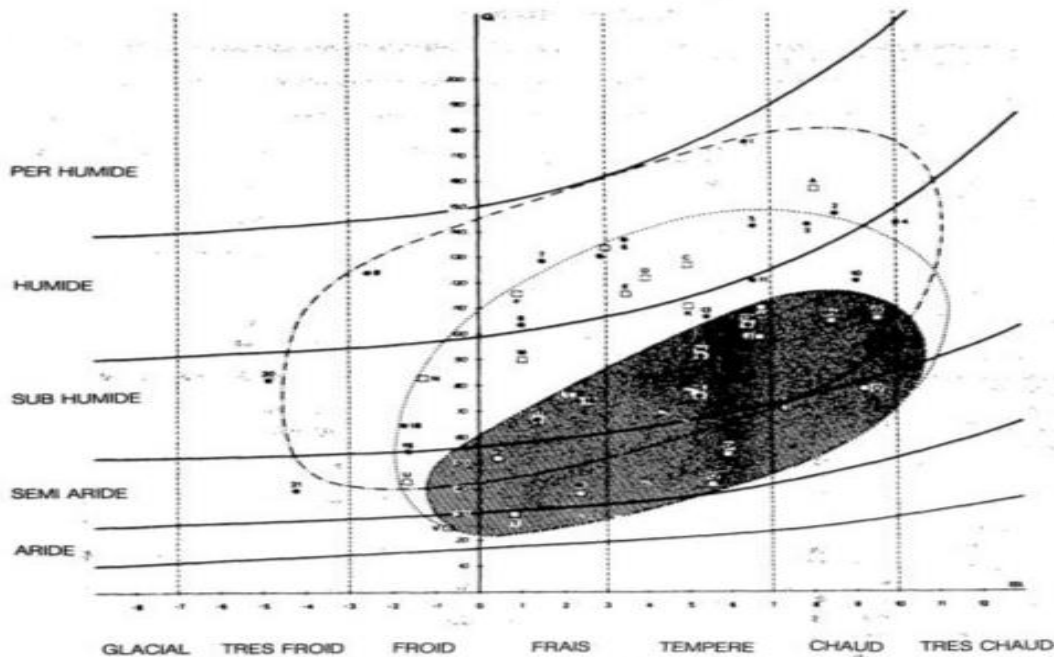


Figure 10 : Air de projection du Pin d'Alep sur la Climagramme d'Emberger

(http://bibfac.univ-tlemcen.dz/snvstu/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2209)

3.3. Ecologie du pin d'Alep :

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est une essence méditerranéenne à caractère continental de tempérament robuste et très plastique puisqu'elle s'adapte à des conditions écologiques difficiles. C'est une essence aussi xérophile, thermophile et héliophile (Letreuch-Belarouci, 1991). Le pin d'Alep peut se rencontrer de la basse altitude jusqu'à 2200 m. C'est une essence qui se rencontre dans la tranche altitudinale qui va depuis le littoral jusqu'au niveau de l'Atlas Saharien (Soltani, 2016). En Algérie, selon Kadik (1983) il prospère dans les tranches altitudinales suivantes :

- 1300-1400m : dans l'Atlas Tellien
- 1600m : dans les Aurès
- 2100-2200m : dans l'Atlas Saharien.

Le pin d'Alep se situe dans tous les étages bioclimatiques, les grandes forêts de pin d'Alep sont localisées principalement dans la zone semi-aride caractérisée par une tranche pluviométrique de 300 à 600 mm. Le pin d'Alep demande une tranche pluviométrique annuelle de 400 mm et une température moyenne de 14°C. Il peut supporter des amplitudes thermiques très élevées et une forte sécheresse atmosphérique. Il résiste au froid, et supporte rarement des températures inférieures à 10°C. Le pin d'Alep est une essence indifférente à la nature de la roche mère et au pH, (Boudy, 1955), il supporte un taux élevé de calcaire actif surtout dans les

substrats chauds et bien drainés, en particulier les sols squelettiques. Il préfère les sols calcaires ou argilo-calcaires. Il ne tolère ni les sols sablonneux dont la perméabilité ne permet pas de retenir de l'eau, ni les bas-fonds limoneux et il se comporte très mal sur les schistes et les micaschistes (Seigue, 1985). En Algérie, le pin d'Alep s'observe surtout sur les roches mères carbonatées à pH basique, il colonise les sols de texture sablo-limoneuse à limono-sableuse (Kadik, 1984). Sa régénération est très abondante après incendie mais il ne résiste pas aux incendies répétés. La multiplication se fait par semis sous châssis au printemps ou semis de graines fraîches à l'automne. Très combustible du fait de sa résine, le pin est détruit sans appel, il ne rejette pas de souche.

4.1. Situation géographique de la zone d'étude

La wilaya de Sidi-Bel Abbes était connue comme base du 1er régiment de la légion étrangère. Elle est située sur la Mékerra, à 470 m d'altitude, au centre d'une vaste plaine comprise entre le djébel Tessala au Nord et les monts de Daya au Sud.

La wilaya occupe une position centrale stratégique et s'étend sur environ 15% du territoire de la région Nord-Ouest du pays soit 9 150,63 km². Elle est considérée comme relais de par son emplacement privilégié dans la mesure où elle est traversée par les principaux axes routiers de cette partie du pays.

Située au Nord-Ouest du pays (35° 12' 00" Nord et 0° 38' 00" Ouest), la wilaya de Sidi Bel Abbes est délimitée comme suit :

- Au Nord par la wilaya d'Oran.
- Au Nord-Ouest par la wilaya d'Ain Témouchent.
- Au Nord-Est par la wilaya de Mascara.
- À l'Ouest par la wilaya de Tlemcen.
- À l'Est par les wilayas de Mascara et Saida.
- Au Sud par les wilayas de Nâama et El-Bayad.
- Au Sud-Est par la wilaya de Saida.

Née d'un premier découpage administratif par ordonnance N° 074-69 du 02 juillet 1974, l'actuelle wilaya de Sidi Bel Abbes comprend 52 communes regroupées en 15 daïras.

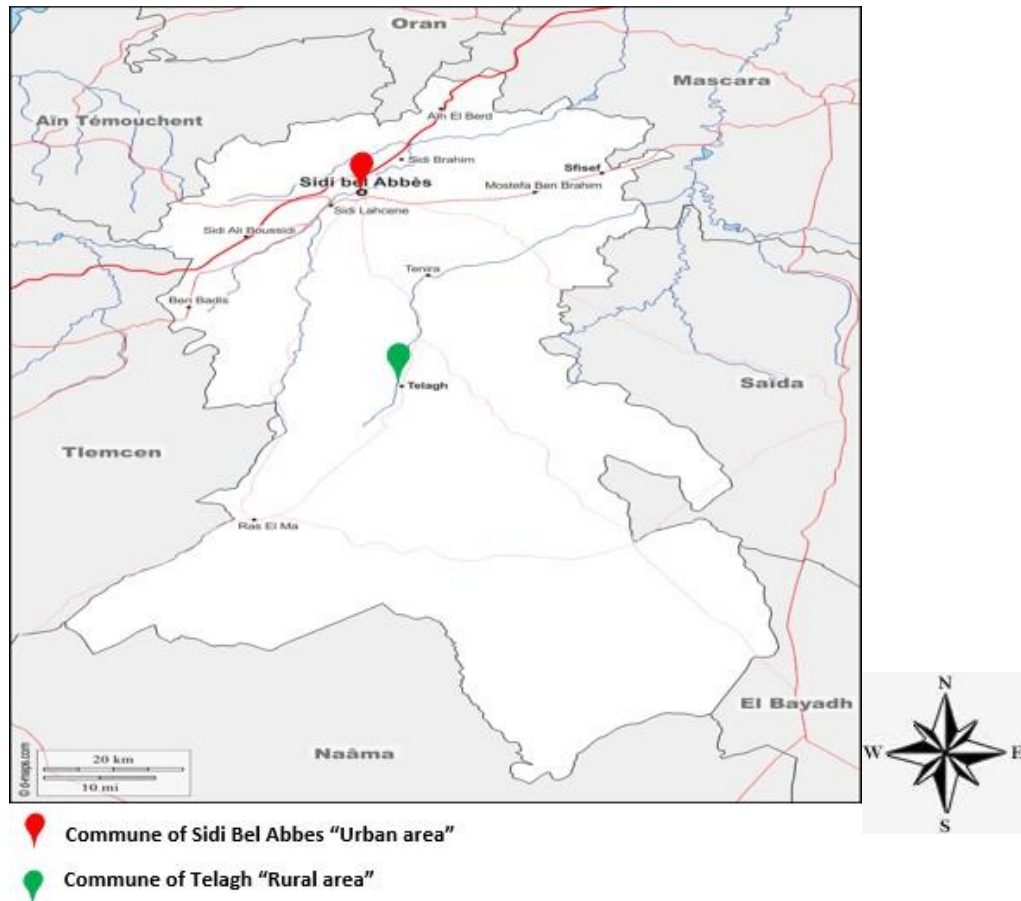


Figure 11 : Situation géographique de la zone d'étude « Wilaya de Sidi Bel Abbès ».

La population totale de la wilaya est estimée à 622 668 habitants, soit une densité moyenne de 68 habitants au Km². Le taux de croissance démographique est de 2,16% durant l'année 2010.

4.2. Cadre topographique

La ville se déploie sur les rives de la Mekerra (en arabe واد مكرة, ancien nom local du *Sig*), et de l'oued *Sarno*. Elle se situe au centre d'une vaste plaine ondulée de 500 m d'altitude moyenne, entre les monts du Tessala au nord et les monts de Dhaya au sud. La chaîne du Tessala la sépare des plaines de la Mleta et du Tlélat. À l'est, une suite de hauteurs s'étendent jusqu'aux monts qui soutiennent les hauts plateaux alors qu'à l'ouest se trouvent les massifs de Tlemcen (*Monts de Tlemcen*) et d'Aïn-Témouchent (*Djebel Seba Chioukh*).

Bien que le site de Sidi Bel Abbès soit stratégique puisqu'il permet le contrôle des nomades du sud venant dans le Tell et la route entre Mascara et Tlemcen, il n'y est érigé qu'une forteresse à partir de 1835 par les militaires français.

Le relief peut être décomposé en trois grands ensembles naturels physiques distincts :

a) Les zones de montagnes : Elles couvrent une superficie totale de l'ordre de 2.250,37 km² soit 24,59% de la wilaya. Elles occupent au nord, les monts de Tessala, de Beni Chougrane sur environ 864,20 km² et la partie centrale de la wilaya par les monts de Dhaya environ 1.386,16 km².

b) Les zones de plaine : Elles couvrent une superficie totale de l'ordre de 3 239,44 km² soit 35,40% de l'espace wilaya. Elles sont représentées par la plaine de Sidi Bel Abbas environ 2 102,85 km² dont l'altitude varie entre 400 à 800 m et les hautes plaines de Telagh environ 1 136,59 km² dont l'altitude varie de 400 à 1 000 m.

c) Les zones de steppe : Elles constituent le sud de la wilaya et occupent une superficie totale de l'ordre de 3 660,82 km² soit 40% de l'espace wilaya dont l'altitude varie de 1 000 à 1 400 m (ANDI, 2013).

4.3. Cadre hydrographique

La wilaya de Sidi Bel Abbas recèle plusieurs ressources superficielles et souterraines. Les premières sont représentées par les oueds de la région dont les plus importants sont le bassin d'oued Mekerra qui prend sa source au niveau de la commune de Ras El Ma et le bassin supérieur d'oued El Hammam qui renferme les affluents des oueds de Sefioune et Tenira.

Quant aux ressources souterraines, les études hydrogéologiques les localisent au niveau des sources (d'Ain Skhouna, Ain Mekhareg) au niveau du bassin de Tenira (unité du haut Melrir) et la nappe des hauts plateaux de Chott-Chergui. Ce dernier situé à l'extrême sud de la wilaya alimente les wilayates limitrophes alors que son apport pour la wilaya de Sidi Bel Abbas reste limité.

Cette entité territoriale est caractérisée par un réseau hydrographique peu développé, au sein du grand bassin-versant de la Macta qui s'étend sur une superficie de 14 390 km². Le drainage y est assuré par trois principaux cours d'eau pérennes :

- l'oued El Hammam situé dans la partie Est de la wilaya de Sidi Bel Abbès et alimentant le barrage de Bouhanifia appartenant à la wilaya de Mascara ;
- l'oued Mekerra situé dans la partie centrale de la wilaya de Sidi Bel Abbès et alimentant le barrage de Cheurfa appartenant à la wilaya de Mascara ;

- l'oued Sarno affluent de oued Mekerra situé dans la partie Nord de la wilaya de Sidi Bel Abbès et alimentant le barrage de Sarno, le seul barrage que compte la wilaya depuis 1954 ;
- le barrage Sidi Abdelli exploité en partie par la wilaya de Sidi Bel Abbès est alimenté par l'oued Isser situé en dehors du réseau hydrographique de la région de Sidi Bel Abbès ;

La wilaya de Sidi Bel Abbès présente un potentiel hydrique de l'ordre de 16 Hm³ par an (ADE, 2010).

4.4. Cadre climatique

Le climat de Sidi Bel Abbas est très chaud en été. La douce fraîcheur des nuits repose les habitants des ardeurs du jour ensoleillé. En hiver, la neige tombe parfois en abondance, mais ne s'accroche pas et part avec le premier redoux. Des températures au lever du jour peuvent être basses, atteignant facilement l'extremum de -7 °C si le ciel hivernal est limpide. Au printemps, les gelées blanches sont à redouter.

4.4.1. Température

Intervenant directement dans les processus biologiques et chimiques de la biosphère ainsi que dans l'activité humaine, la température représente l'un des facteurs essentiels du climat.

En effet une élévation importante de la température engendre une évaporation des oueds, des rivières, limitant ainsi la biodégradation, c'est un facteur caractérisant le type de climat et déterminant du régime d'humidité. Les moyennes mensuelles des températures enregistrées durant la période de 2010 à 2020 sont représentées dans le tableau 10.

Tableau 10 : Moyennes mensuelles des températures (°C) de 2010 à 2020 à la Wilaya de Sidi Bel Abbas. Source : <https://www.dzmeteo.com/meteo-sidi-bel-abbes.dz>.

Mois	<u>janv</u>	<u>fev</u>	<u>mars</u>	<u>avr</u>	<u>mai</u>	<u>juin</u>	<u>juil</u>	<u>août</u>	<u>sept</u>	<u>oct</u>	<u>Nov</u>	<u>Dec</u>	Moy/an
Tempé. maxi moyennes	15,8	21,7	20,3	21,9	28,7	31,9	38,1	37,7	32,3	26,0	23,0	16,0	<u>26,1</u>
Tempé. moy moyennes	8,2	12,3	13,5	16,0	20,2	23,3	28,8	28,5	23,6	17,5	15,0	10,9	<u>18,2</u>
Tempé. mini moyennes	0,6	2,9	6,6	10,1	11,7	14,7	19,6	19,3	14,9	9,1	6,9	5,8	<u>10,2</u>

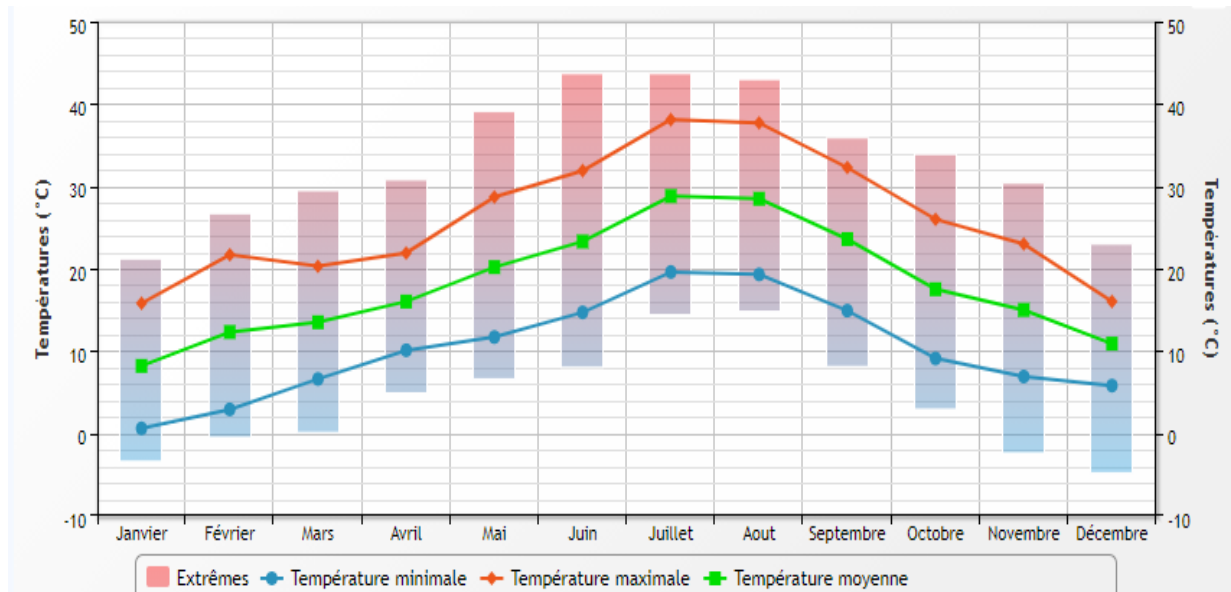


Figure 12 : Moyennes mensuelles des Températures de 2010 à 2020 à Sidi Bel Abbes.

Source : <https://www.dzmeteo.com/meteo-sidi-bel-abbes.dz>.

Selon les données de la figure 12, il s'avère que les saisons thermiques sont bien tranchées. La saison chaude va de Mai à Septembre, les mois pendant lesquels les températures moyennes mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle.

La saison froide s'étend d'Octobre à Avril. Le maximum des températures est atteint aux mois de Juillet avec 38,1°C et le minimum se situe en Janvier autour de 0,6°C.

4.4.2. 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.

Les moyennes mensuelles des précipitations enregistrées durant la période de 2010 à 2020 sont représentées par le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Moyennes mensuelles des précipitations (mm) de 2010 à 2020 à Sidi Bel

Abbes. Source : https://onm-blog.meteo.dz/?page_id=226#.

Mois	<u>janv</u>	<u>fev</u>	<u>mars</u>	<u>avr</u>	<u>mai</u>	<u>juin</u>	<u>juil</u>	<u>août</u>	<u>sept</u>	<u>oct</u>	<u>nov</u>	<u>dec</u>	<u>Année complète</u>
Cumul Précips	45,8	31,3	35,4	30,3	21,1	7,5	1,5	5,4	21,4	35,1	45,7	46,5	326,7

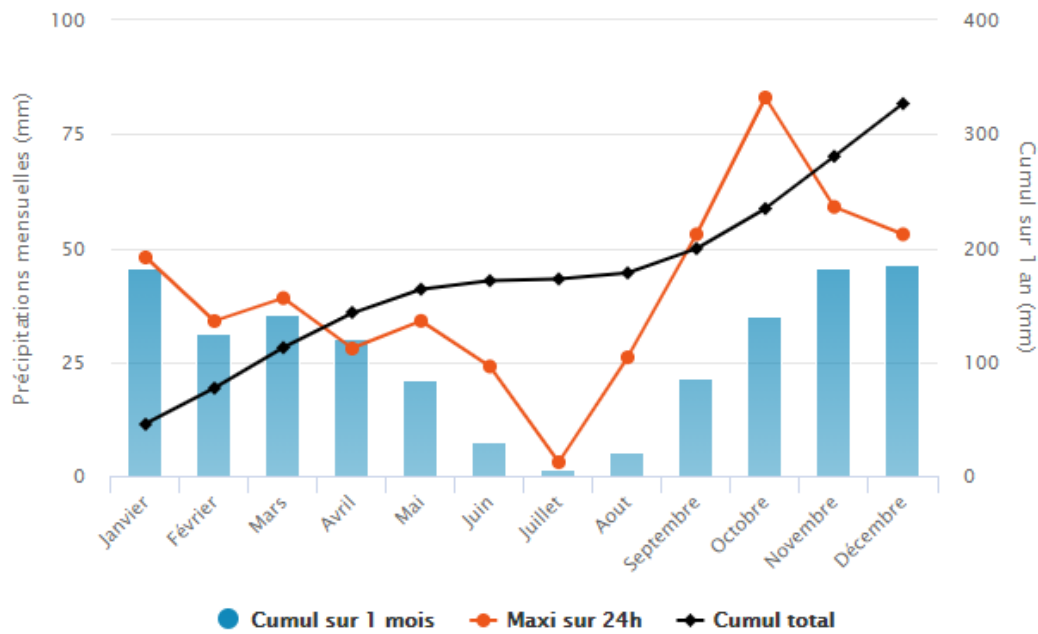


Figure 13 : Précipitations (2010-2020) à Sidi Bel Abbès. Source : https://onm-blog.meteo.dz/?page_id=226#.

Les valeurs maximales des précipitations s'observent au mois de Décembre avec 46,5 mm, et celles minimales au mois de juillet avec 1,5mm (Fig. 13). Les précipitations moyennes annuelles sont de 350 mm avec un régime pluviométrique de type HPAE.

4.4.3. Vent

Le vent possède un régime de déplacement variable en fonction de l'altitude, la pression atmosphérique et les saisons. C'est un facteur climatique qui entraîne des variations de températures et d'humidité et exerce une action mécanique et physiologique sur les arbres des forêts.

Tableau 12 : Moyennes mensuelles des vents (km/h) de 2010 à 2020 à Sidi Bel Abbès.

Source : https://onm-blog.meteo.dz/?page_id=226#.

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Moy	18,56	17,96	17,64	14,82	11,98	11,86	11,48	10,64	11,17	10,73	16,78	14,82

Les vents dominants sont ceux d'une direction Nord-Ouest, et les vents du Nord sont généralement frais, leur fréquence et leur violence atteignent leur maximum en hiver, et sont souvent froids, leur vitesse moyenne annuelle est de 14,04Km/h.

Les vents de direction Sud-Est et Est sont les moins fréquents.

La période estivale est caractérisée par le Siroco, qui vient de Sud ou Sud-Ouest C'est un facteur de propagation des incendies, (Fig. 14)

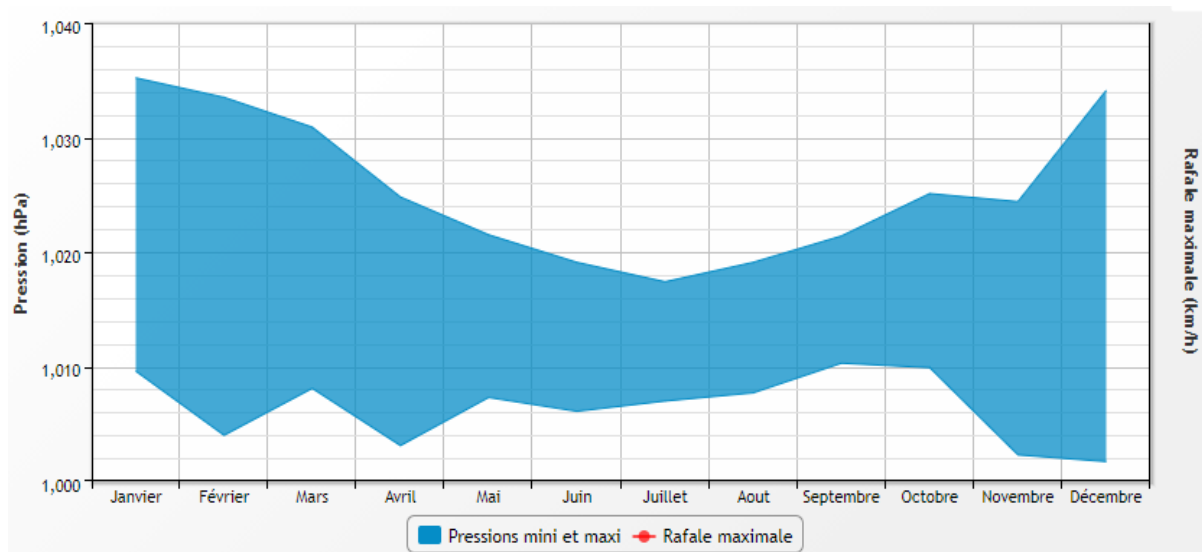


Figure 14 : Variations des vitesses moyennes mensuelles des vents et de la pression (2010-2020) à Sidi Bel Abbas. Source : https://onm-blog.meteo.dz/?page_id=226#.

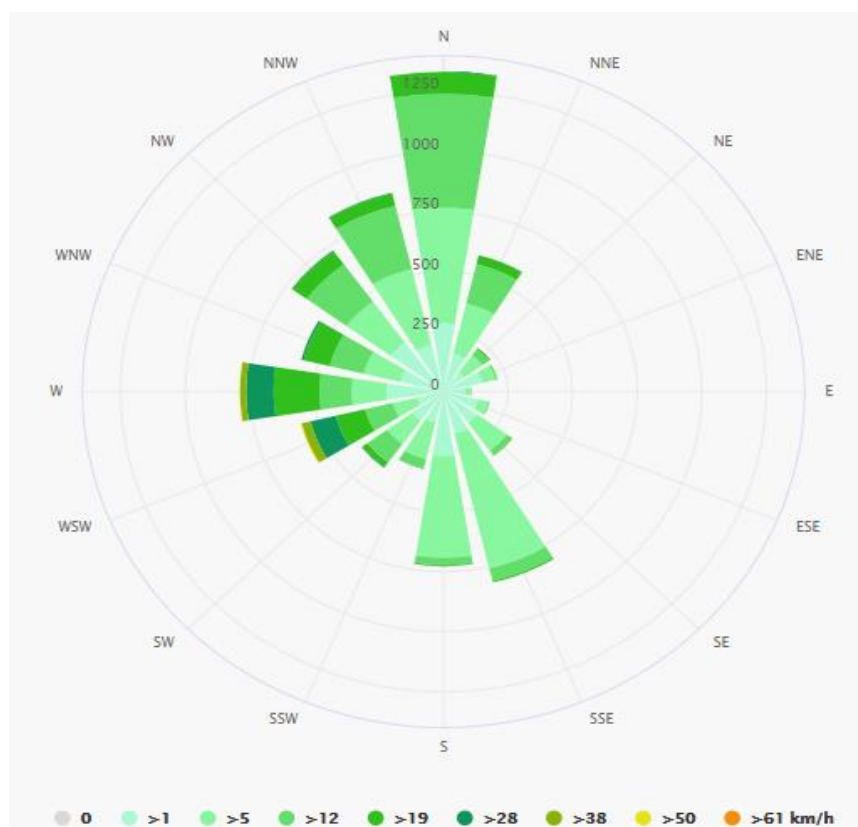


Figure 15 : Rose des vents à Sidi Bel Abbas. Source : <https://www.dzmeteo.com/meteo-sidi-bel-abbes.dz>.

4.4.4. Humidité

Elle dépend de plusieurs facteurs tel que, de la quantité d'eau tombée, du nombre de jours de pluie, de la forme de ces précipitations, de la température, des vents et de la morphologie de la station considérée.

L'humidité atmosphérique est l'un des éléments essentiels du cycle hydrologique, source de toutes les précipitations, elle contrôle en outre pour une large part les taux d'évaporation du sol et de la couverture végétale. L'humidité relative moyenne est déduite des lectures faites au psychromètre à 7h, à 13h et 18 h de la journée.

L'évolution mensuelle de l'humidité évaluée durant la période de 2010 à 2020 est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Moyennes mensuelles d'Humidité relative (%) de 2010 à 2020 à Sidi Bel

Abbes. Source : <https://www.dzmeteo.com/meteo-sidi-bel-abbes.dz>.

Mois	<u>janv</u>	<u>fev</u>	<u>mars</u>	<u>avr</u>	<u>mai</u>	<u>juin</u>	<u>juil.</u>	<u>août</u>	<u>sept</u>	<u>oct</u>	<u>nov</u>	<u>dec.</u>
Humidité Moy	71%	70%	66%	62%	58%	50%	44%	47%	57%	62%	68%	71%

D'après le tableau 13, on constate que l'humidité relative moyenne annuelle est de 60,5%. Et elle est souvent supérieur à 50% sauf en été avec une valeur minimale de l'ordre de 44% au mois de Juillet et une valeur de 47% au mois d'Aout.

Les valeurs maximales sont enregistrées durant les mois de Décembre et Janvier avec un taux d'humidité de 71%. Ceci indique que l'atmosphère se trouve dans un état plus ou moins proche de la condensation en cette période.

4.5. Synthèse bioclimatique

4.5.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de Gausсен, nous permet de distinguer les différentes périodes climatiques au cours d'une année. L'échelle utilisée dans le diagramme consiste à doubler la valeur de la température par rapport à la pluviométrie ($P=2T$).

Pour Gaussen et Bagnouls, un mois est sec si le quotient des précipitations mensuelles exprimées en mm, par la température moyenne T exprimée en °C est inférieur à 2 ($P / T < 2$).

Lorsque la courbe de température passe au-dessus de la courbe des précipitations, la période correspondante est déficitaire en eau (période sèche).

Lorsque la courbe de température passe au-dessous de la courbe précipitation, la période correspondante est humide. La formule ($P \leq 2T$) permet de construire un diagramme ombrothermique traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des deux courbes.

Gaussen et Bagnouls considèrent que la saison sèche représente pour de nombreux pays la période critique de végétation, et par conséquent le facteur écologique principal d'après la loi des facteurs limitants (Ozenda, 1982).

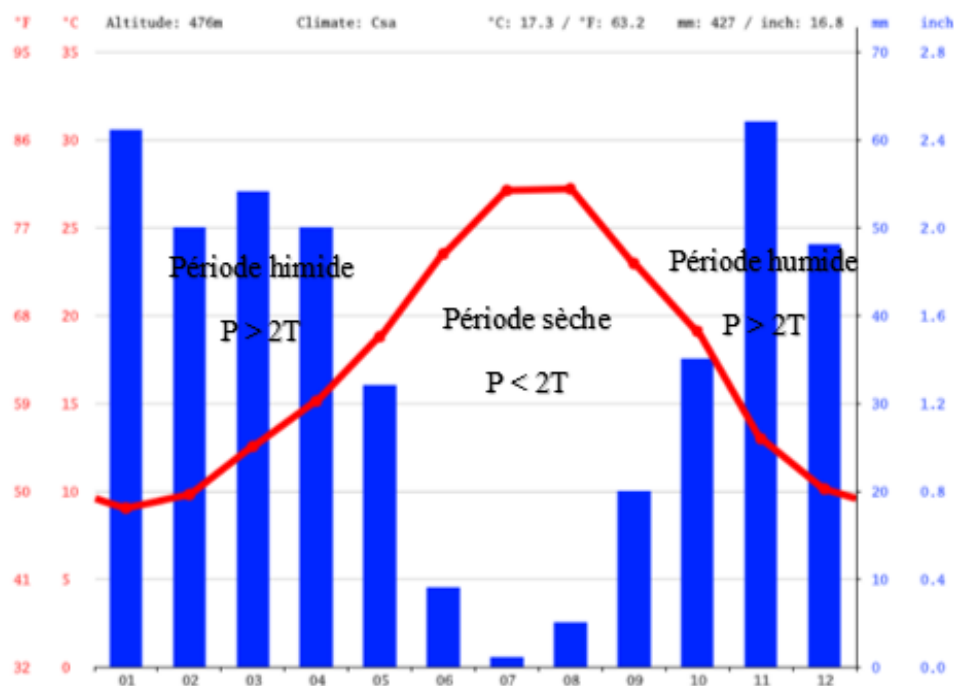


Figure 16 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la Wilaya de Sidi Bel Abbès. Source : <https://www.dzmeteo.com/meteo-sidi-bel-abbes.dz>.

La détermination de la période sèche de la zone d'étude est déduite directement de la courbe Ombrothermique (Fig. 16) ; elle est de l'ordre de six mois, qui va de fin-avril jusqu'à fin-October, le reste des mois de l'année, constitue la période humide.

4.5.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER

Pour situer le climat de notre zone d'étude, on utilise le Climagramme d'Emberger qui a défini les étages bioclimatiques en se basant sur les deux facteurs : le quotient pluviométrique et la température du mois le plus froid.

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER est un indice pluviométrique propre à la région méditerranéenne (Ozenda, 1982 ; Ramade, 2003). Calculé par la formule suivante :

$$Q2 = \frac{2000 \times P}{M^2 - m^2}$$

Où :

Q2 : quotient pluviométrique ;

P : précipitation annuelle en (mm) ;

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud ;

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid;

D'après ces données climatiques et d'après le calcul du quotient pluviométrique d'EMBERGER qui est égale à 42,72. On arrive à dire que la wilaya de Sidi Bel Abbes se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Fig. 17).

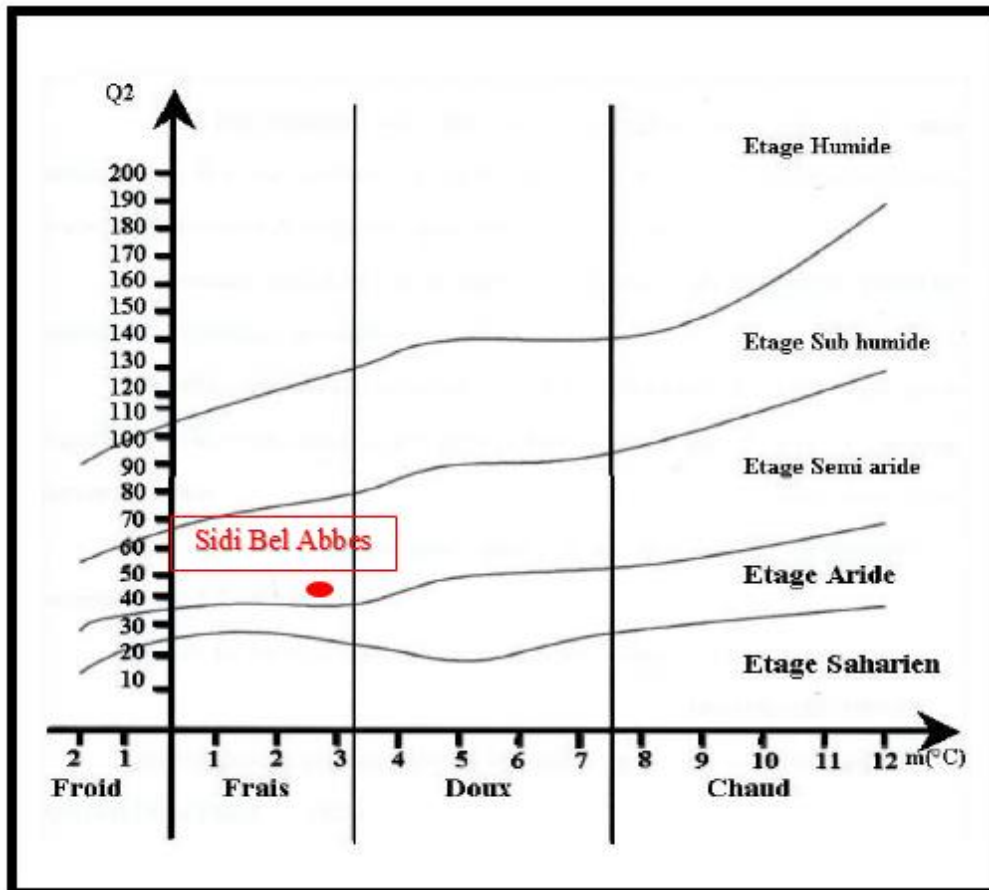


Figure 17 : Climagramme d'EMBERGER

La région de Sidi Bel Abbès est caractérisée par un climat méditerranéen et elle appartient à l'étage bioclimatique semi-aride à tendance continentale : hiver humide et froid, été sec et chaud, saisons intermédiaires courtes.

4.6. Végétation et Agriculture

Le secteur des forêts occupe au niveau de la wilaya de Sidi Bel Abbès une superficie forestière qui s'étale sur 203 724 Hectares donnant un taux de couverture de 22,26 % par rapport à la superficie globale de la wilaya. La daïra de Merine occupe première position en termes de la taille de grandeur de son massif forestier. Elle occupe à elle seule 33,63 % de la superficie forestière totale, en deuxième position on retrouve la daïra de TELAGH (11,94%), suivi de la daïra de MOULAY-SLISSEN. Ainsi ces trois daïras regroupent plus de la moitié (56,64%) des forêts de la wilaya.

Actuellement le patrimoine forestier de Sidi Bel Abbès est considéré comme moyennement boisé. L'espèce forestière la plus répandue est le chêne vert (*Quercus ilex*), qui constitue 60%

du couvert végétal avec d'autres espèces comme le chêne liège qui occupe 20% dans un état très dégradé on a aussi pin d'Alep (*Pinus halepensis*), et le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*).

En ce qui concerne l'agriculture, la superficie totale des terres utilisées est évaluée à 363 005 Hectares dont 7 215 Hectares, jugée très faible, sont à l'irrigués soit 2%. Les terres improductives s'élèvent à 177 296 Hectares de la superficie agricole totale soit 45,89%.

La wilaya de Sidi Bel-Abbès se caractérise par une double vocation :

- ❖ Agricole au nord soit au niveau des plaines et sur les bas piémonts ;
- ❖ Sylvopastorale sur les différents massifs et au niveau des hautes plaines steppiques du sud de la wilaya.

Elle dispose aussi d'importantes potentialités animales diversifiées à dominance gros élevage (ovin et bovin) ainsi que d'un réseau d'appui et de soutien de la production et de la transformation des produits agricoles et animaliers.

Les superficies : La S.A.U totale de la wilaya est de 358 780 hectares soit 39% de la superficie totale de la Wilaya, dont :

- 210 500 ha constituent la zone agricole
- 118 980 ha constituent la zone agro-pastorale
- 29 300 ha constituent la zone pastorale.

Pour ce qui est des surfaces irrigués, seule 6.160 hectares sont actuellement irrigué sur un potentiel apte à l'irrigation de l'ordre de 30.000 hectares. Les principaux atouts de la wilaya dans ce domaine restent liés aux potentialités dont elle dispose, à savoir une SAU d'environ 39 % de la superficie totale. Les sols sont en majorité bons et profonds, les espaces forestiers et alfatiers représentent 40 % du territoire de la wilaya ; ils constituent donc des ressources complémentaires à l'activité agricole, (ANDI, 2013).

4.7. Réseau routier de la Wilaya de Sidi Bel Abbas

Le réseau routier algérien demeure l'un des plus denses du continent africain, sa longueur est de 112.039 km dont 29573 km de routes nationales. La wilaya de Sidi Bel Abbas quant à elle, elle se présente sous deux grands axes principaux :

- ❖ L'axe Oran - Sidi Bel Abbés - Ras el ma traversant la wilaya du nord au sud par la RN n°13.
- ❖ L'axe de Tlemcen - Sidi Bel Abbes - Mascara traversant la wilaya de l'ouest vers l'est par la RN n°7.

Ces deux axes connaissent un trafic assez dense. Ainsi les routes nationales s'étalent sur une distance de 663,27 km pour l'ensemble de la wilaya.

Quant aux chemins de wilaya (CW) il y a lieu de préciser qu'à la fin toujours de l'année 2010 leur réseau détenait une longueur de 614 004 km. Les chemins communaux et vicinaux bien que de faible importance, du point de vue de la densité du trafic, constituent une complémentarité aux deux réseaux précités. Ce type de voie de communication totalise une longueur de 297 860 km à laquelle s'ajoute 144 800 km en état de piste.



Figure 18 : Carte du réseau routier de la Wilaya de Sidi Bel Abbes (ANDI, 2013).

4.8. Le parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbès

Le transport représente un des piliers fondamentaux du développement durable et de la prospérité de tout pays. Des systèmes de transport efficaces et des réseaux modernes sont donc une nécessité pour le développement économique, le bien-être social, la production à grande échelle, et la préservation de l'environnement.

En Algérie, le secteur du transport connaît une véritable mutation. Un grand nombre de projets ont été réalisés où sont en phase de réalisation, afin de rendre ce secteur plus performant et plus efficace dans sa contribution dans le développement économique du pays.

Le parc automobile de la wilaya de Sidi Bel Abbès compte 88 782 véhicules, tous types confondus en 2018 ; et cela représente 1,38% du parc automobile national (ONS, 2019).

Tableau 14 : Répartition du parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbès selon le genre de véhicule. (ONS, 2019).

Genre	Véhicules de tourisme	Camions	Camionnettes	Autocars Autobus	Tracteur routier	Tracteur agricole	Véhicule spécial	Remorque	Moto
Nombre	54 523	6 697	16 957	1 001	896	5 795	49	1 519	1 345

4.8.1. Infrastructures de transport

La wilaya de Sidi Bel Abbès possède 54 stations de taxi, soit une par commune sauf la commune de Sidi Bel Abbès possède 3 stations et 17 gars routières qui reste insuffisantes.

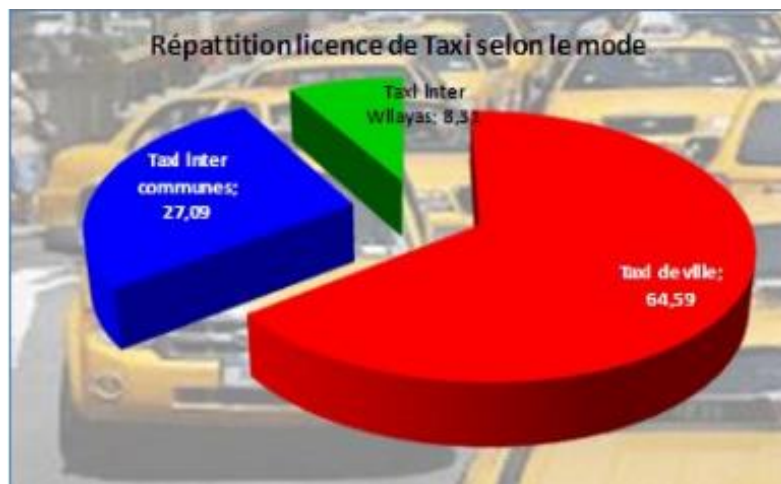


Figure 19 : Répartition des Taxis selon leur mode de transport (%) (DPSB, 2013).

Le transport de la Wilaya compte 1 161 opérateurs totalisant une capacité de 39 505 sièges offerts surtout au secteur semi -urbain avec 15 643 sièges.

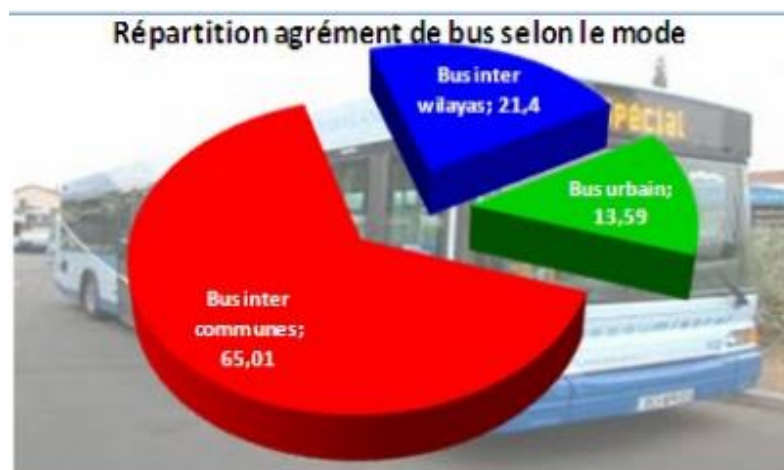


Figure 20 : Répartition des Bus selon leur mode de transport (%) (DPSB, 2013).

Le transport routier de marchandise est à l'actif de 3 300 opérateurs dont 1 808 agissant pour leur propre compte.

4.8.2. Etat du parc automobile

Tableau 15 : Répartition du parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbes selon les tranches d'âges. (ONS, 2018).

<u>GENRE</u>	<u>TRANCHES D'AGE</u>					<u>TOTAL</u>
	<u>Moins de 5 ans</u>	<u>de 5 à 9 ans</u>	<u>de 10 à 14 ans</u>	<u>de 15 à 19 ans</u>	<u>20 ans et plus</u>	
<u>Nombre de véhicule</u>	17844	15702	12046	3702	39278	88571

4.8.3. Stockage et distribution de carburants

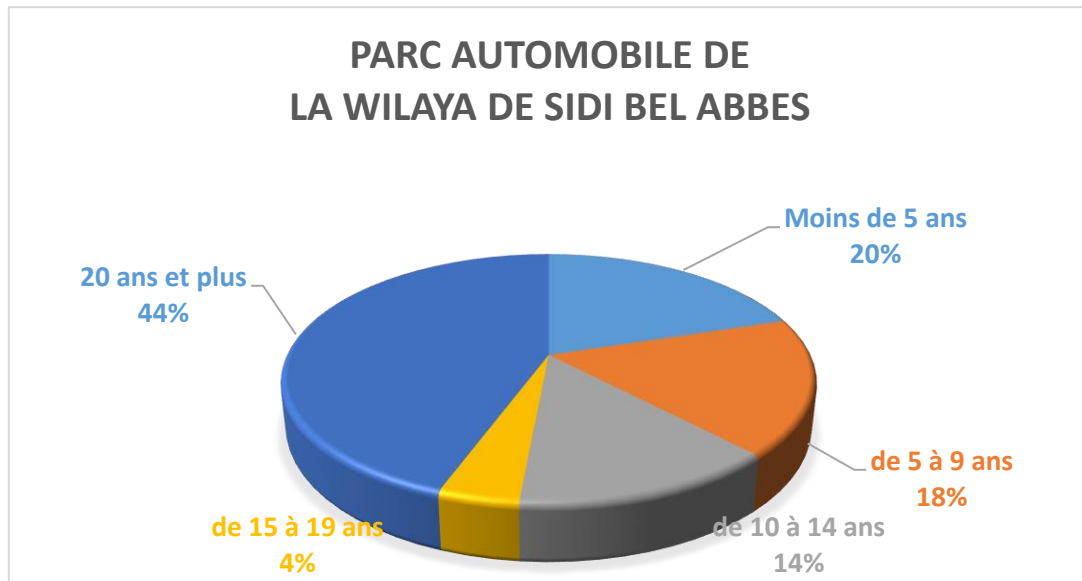


Figure 21 : Répartition du parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbès selon les tranches d'âges. (ONS, 2018).

S'étendant sur une superficie d'environ 50ha, le nouveau centre de stockage et de distribution de carburants de Sidi-Bel-Abbès sis à la zone industrielle de la Wilaya, à une capacité de stockage 180.000 m³ avec une autonomie de 30 jours, il est équipé pour réceptionner les différents produits raffinés, (gasoil, essence normal et super), les stocker et les expédier par voie routière et voie ferroviaire.

Le centre est doté d'un parc de stockage de carburants qui contient :

- 6 bacs de 5 000 m³ d'essence
- 6 bacs de 25 000 m³ de gasoil
- Une réserve d'eau incendie de capacité de 5 100 m³
- 01 bac de 500m³ pour récupération des eaux huileuses
- Postes de chargement/déchargement wagon
- 01 poste de chargement camion
- 01 pompe carburant
- 01 pompe de reprise
- 01 unité de coloration

- Une station de traitement des eaux huileuses
- Une unité de récupération des vapeurs
- Un laboratoire d'analyse
- Une pompe antiincendie
- Une salle de contrôle et une sous station électrique
- Un bâtiment administratif en R+1

Ce centre vise à sécuriser l'approvisionnement du marché en carburants, d'améliorer le système de distribution, de réduire les risques d'accidents routiers, supprimer le transport par cabotage, le développement du transport par canalisations, le renforcement et la modernisation du réseau stations- service autoroutier et urbains et enfin réduire le recours au transport par route, générateur de surcoûts, aussi d'autres objectifs qui se profilent à l'horizon. Ce centre est un grand acquis aussi bien pour la wilaya de Sidi bel abbés que pour les autres régions limitrophes, (NAFTAL, 2020).

Le parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbes est réparti en deux grands types de carburants, 65% d'essence soit 56 724 véhicules et 35% de gasoil soit 30 539 véhicules, (Tableau 16 et Fig. 22).

Tableau 16 : Répartition du parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbes selon la source d'énergie. (ONS, 2018).

WILAYA	SOURCE D'ENERGIE				TOTAL
	ESSENCE	%	GAZOIL	%	
Sidi Bel Abbes	56 724	65,00	30 539	35,00	87 263

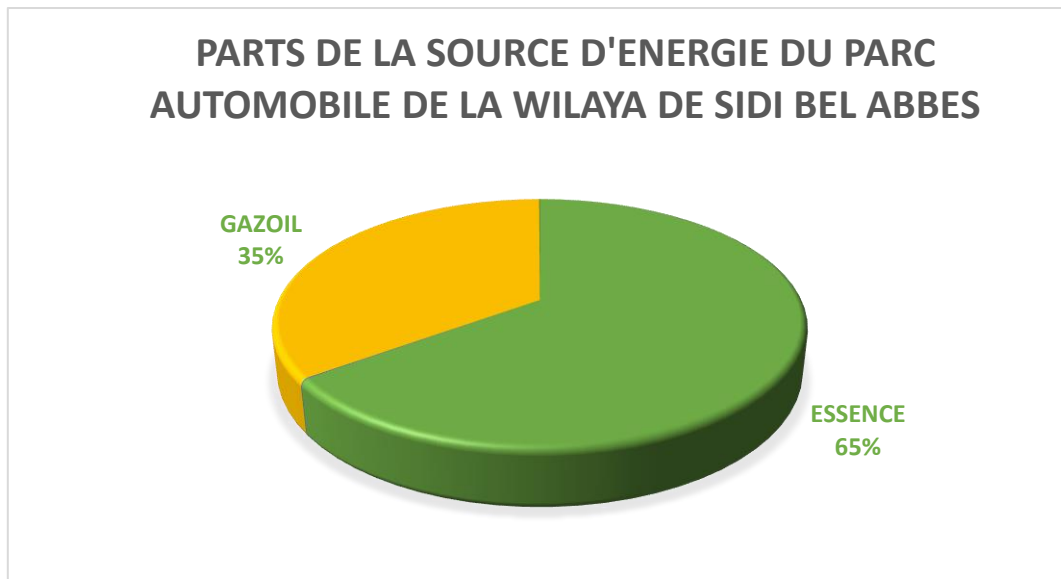


Figure 22 : Répartition du parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbès selon la source d'énergie. (ONS, 2018).

4.9. Choix des sites de prélèvements

Si les causes des pollutions et celles des véhicules automobiles en particulier sont bien connues en Afrique, leurs conséquences sur la santé publique, sur l'espace vital et sur l'environnement n'ont jamais fait l'objet d'une étude systématique. Des enquêtes renouvelées diligentées dans treize pays africains entre 1990 et 1995, sur le comportement environnemental des populations locales, ont révélé un degré d'ignorance notoire et d'inconscience caractérisée y compris chez les élites (Zinzindohoué, 1997).

En Algérie, l'une des causes de la pollution atmosphérique en milieu urbain est la densité du réseau routier qui supporte le trafic d'un parc automobile en croissance constante utilisant le plus souvent des carburants non conformes aux règles édictées en matière de protection de l'environnement.

L'évaluation des niveaux de pollution en proximité des axes de circulation est un travail complexe, compte tenu des nombreux facteurs à prendre en considération à cette échelle. Les concentrations en polluants enregistrées en bordure de voie dépendent en effet des émissions locales générées par le trafic automobile, des paramètres influant sur la dispersion des polluants (météorologie locale et configuration de voirie) et des niveaux de concentration de fond des

zones environnantes. Chaque portion de voie représente donc un cas particulier en termes de caractérisation de la qualité de l'air (Rahal, 2009).

Dans ce contexte, notre choix s'est porté sur deux sites de prélèvements (un site urbain et un site rural) au niveau de la wilaya de Sidi Bel Abbes pour but d'évaluer les quantités de métaux lourds que le trafic routier peut causer en utilisant le pin d'Alep (*pinus halepensis*) qui s'y trouve.

Tableau 17 : Sites de prélèvements

Désignation	Site urbain	Site rural
Commune	Sidi Bel Abbes	Telagh
Site de prélèvement	Une forêt « le Bosquet »	Une station d'essence « Chahi »
Végétation	Pin d'Alep	Pin d'Alep
Route	RN 13	RN 13
Distance entre les deux sites	51 km	

5.1. Introduction

Dans le cadre général de la biosurveillance de la qualité de l'air, l'évaluation approximative de contamination aérienne par les polluants atmosphériques est testée par des méthodes biologiques afin de contrôler les émissions polluantes ou d'approfondir la connaissance des différents processus qui conduisent à la pollution atmosphérique.

Les nouvelles stratégies prévoient justement une évaluation des teneurs en polluants atmosphériques sur l'ensemble du territoire étudié. Il en résulte un effort à fournir en termes de couverture, en particulier dans les zones urbaines qui sont dépourvue de stations de mesures automatiques sur nos villes.

Pour cette raison, nous cherchons à mettre en évidence le degré de pollution par des métaux lourds qui sont issus du trafic routier avec l'utilisation du pin d'Alep comme bio-accumulateur de ces éléments polluants, sur deux sites différents, un site urbain et un site rural, dans le but d'estimer la pollution atmosphérique sur ces derniers.

Cette étude a pour but de formuler des recommandations d'application et d'évaluer la pollution métallique générée par le trafic routier et accumulée par les aiguilles du pin d'Alep et sa litière.

5.2. Description des sites de prélèvements

La zone d'étude se caractérise par un trafic routier très dense et élevé durant toute l'année, induisant des particules, de poussières et des complexes organiques issues des véhicules.

L'espace urbain d'étude retenu est dénommé «le Bosquet» (Fig 23), c'est une forêt qui s'étend sur une superficie de 3,5 ha avec une plantation de Pin d'Alep d'un âge moyen de 35 ans ; située en bordure de la rocade Nord-Est de la ville de Sidi Bel Abbes en face du parking de la Sonelgaz (Société nationale de l'électricité et du gaz) et derrière cette forêt se trouve un autre parking à camions de la caserne militaire. Cette forêt est caractérisée par la prédominance du couvert végétale très dense ; la raison pour laquelle la plus part des citoyens bélabésiens la considère comme une région de loisirs.

On a observé que cet espace est en contact avec une infrastructure routière très fréquentée dont le trafic moyen par heure est de l'ordre de 7 000 pour les véhicules légers et 600 pour les poids

lourds entre 8h00 et 10h00 ; entre 11h00 et 13h00 c'est 3 000 voitures légères et 240 pour les camions.



Figure 23 : Localisation des 3 zones d'échantillonnages au niveau du Bosquet à Sidi-Bel-Abbès (*Institut régional de cartographie de Sidi Bel Abbès*)

Sites	Zones d'échantillonnages	Coordonnées géographiques
Site Urbain "Le Bosquet"	Zone 1	Latitude 35.193606° Longitude -0.606898° Elévation. 473 m Altitude 1.07 km
	Zone 2	Latitude 35.193731° Longitude -0.606617° Elévation. 473 m Altitude 1.07 km
	Zone 3	Latitude 35.193773° Longitude -0.606311° Elévation. 473 m Altitude 1.07 km

Pour l'espace rural ce sont des plants d'alignement en Pin d'Alep au niveau de la station-d'essence «CHAHI» (Fig.24). Cette dernière s'étend sur une superficie de 5700 m² et fonctionne entre 5h00 et 22h00. Elle est située sur la route nationale reliant Sidi Bel Abbès à Telagh. Cette station est située dans l'accès nord de Telagh, à 50 km de la ville de Sidi-Bel-Abbès avec un couvert végétal plus ou moins dense.

Le trafic moyen selon nos observations est d'environ 3 000 véhicules légers et 500 poids lourds par heure entre 8h00 et 10h00, et environ 1 500 véhicules légers et 700 poids lourds par heure entre 11h00 et 13h00.



Figure 24 : Localisation des 3 zones d'échantillonnages au niveau de la station-service à Télagh (*Institut régional de cartographie de Sidi-Bel-Abbès*)

Sites	Zones d'échantillonnages	Coordonnées géographiques
Site Rural «Station-service Telagh »	Zone 1	Latitude 34.795789° Longitude -0.571756° Elévation. 868 m Altitude 1.13 km
	Zone 2	Latitude 34.795793° Longitude -0.572118° Elévation. 865 m Altitude 1.13 km
	Zone 3	Latitude 34.795845° Longitude -0.572876° Elévation. 859 m Altitude 1.13 km

5.3. Échantillonnage des plantes

Pour procéder à l'échantillonnage des plantes, chaque site est divisé en 3 zones différentes (Tableau. 18), afin d'évaluer le degré de contamination par les métaux lourds issus du trafic routier dans chaque zone et dans chaque site, en tenant compte des facteurs climatiques à savoir (le vent, la température....etc) et la situation topographique de la zone d'étude.

Tableau 18 : Répartition des zones d'échantillonnage dans les deux sites d'étude.

Zones d'échantillonnage	Site URBAIN « Forêt du Bosquet de Sidi-Bel-Abbès » Fig.21	Site RURAL « station-service de Telagh » Fig.22
Zone 1	A proximité de l'autoroute	A proximité de l'autoroute et dans la station-service
Zone 2	A 30m de l'autoroute	A proximité de l'autoroute A 2 m de l'autoroute A 16 m de la station-service
Zone 3	A 60 m de l'autoroute	A 15 m de l'autoroute A 31 m de la station-service

Pour chaque site nous avons prélevé des aiguilles d'arbres de pin saines (aspect verdâtres) provenant de rameaux de l'année et aussi des années précédentes prises à une hauteur comprise entre 1,50 m et 2 m du sol pour éviter les contaminations dues aux projections venant du sol (Babacar, 1998) et des aiguilles des chutes de litière (aspect jaunâtres). Nous avons prélevé, pour chaque site 200gr d'aiguilles de pin sur le pourtour de l'arbre pour avoir un échantillon moyen homogène et 200gr d'aiguilles de litière sous l'arbre.

Les échantillons doivent être prélevés à différents endroits dans les zones choisis, avec un mouvement en zigzag tout le long de la zone en respectant les mêmes points de prélèvements pour les aiguilles d'arbre et de la litière.

Les aiguilles collectées sont placées dans 6 différents sachets zip hermétiques étiquetés pour distinguer les aiguilles des branches, des aiguilles des chutes de litière puis sont fermés avec précaution pour éviter toute forme de contamination durant le transport. Les 12 échantillons (6 pour chaque site) ont été transportés dans un sac opaque au laboratoire d'analyse.



Figure 25 : Aiguilles d'arbre du pin d'Alep.



Figure 26 : litière du pin d'Alep.

5.4. Méthode d'extraction

Le dosage des éléments métalliques bio-accumulé par le pin d'Alep s'effectue dans les aiguilles et la litière après séchage et réduction de celles-ci en poudre. L'analyse des polluants recherchés s'effectuera après minéralisation sèche. La méthode utilisée est celle de Barbaste, 2004.

5.4.1. Prétraitement

Tous les supports et équipements utilisés pour les analyses ont été lavés à l'eau distillée, puis trempés dans du HNO_3 puis rincés à l'eau distillée et séchés à l'étuve. Les aiguilles ont été séparées de leurs supports puis séchées dans une étuve à air filtré (Memmert) pendant 4 jours à une température de 40°C (Fig.26) sans aucun traitement puis broyées pour obtenir une poudre avec un mortier en agate (Barbaste, 2004).



Figure 27 : Prétraitement des aiguilles de pin et sa litière par zone de prélèvement (pour le site urbain).



Figure 28 : Séchage des aiguilles à l'étuve à 40°C (pour le site urbain).

5.4.2. Mise en solution

Les protocoles d'analyse utilisés reposent sur les méthodes ICI (inter-institut des techniques analytiques) et la minéralisation sèche a été utilisée pour le Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Cr et le Zn.

La mise en solution des éléments métalliques est réalisée sur un échantillon broyé de 1 g, puis on applique le mode opératoire suivant :

- Calcination à 420°C pendant 4 heures au four (Heraeus), La calcination a pour but de détruire la matière organique bien avant la minéralisation.
- Récupération des cendres avec 5 ml de HNO₃ 65%
- Laisser évaporer pendant 3 minutes,
- Ajouter 10 ml de HNO₃ 50%, La minéralisation permet le retour des éléments sous forme inorganique.
- filtration pendant 24 heures sur du papier-filtre (10µm).
- jaugeage à 50 ml.

6 solutions sont préparées pour chaque site (3 solutions pour les aiguilles de Pins « Zone1, 2, 3 » et 3 solutions pour les aiguilles de litière « Zone1, 2, 3 »), au total 12 solutions sont préparées.

Il est important de souligner que nous avons utilisé des aiguilles de pin d'Alep témoins qui ont été récoltées dans un milieu sain, pour comparer ces résultats. Une solution témoin à blanc de HNO₃ 65% et d'eau distillée a été préparée de la même manière que les 12 solutions citées précédemment. En effet Cuny et Van Haluwyn (2003), ont indiqués que dans ce genre d'études, les échantillons témoins sont plus fiables et plus représentatifs que les valeurs normes.

Toutes les manipulations ci-dessus on était réalisées au niveau du laboratoire régionale de l'ONEDD « Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable » sis à Oran.



Figure 29 : four de calcination Heraeus.



Figure 30 : creusets contenant les cendres d'aiguilles et de litière après 4h de calcination à 420°C.

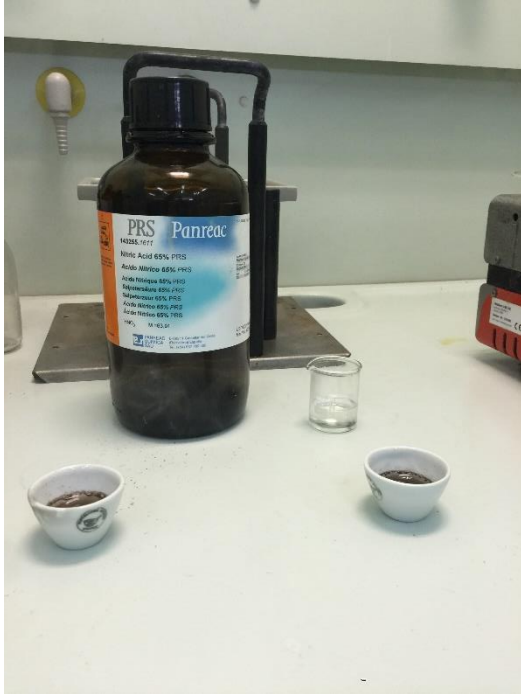


Figure 31 : Reprise des cendres par HNO₃ 65%.



Figure 32 : Reprise par 10ml d'HNO₃ 50% après évaporation.

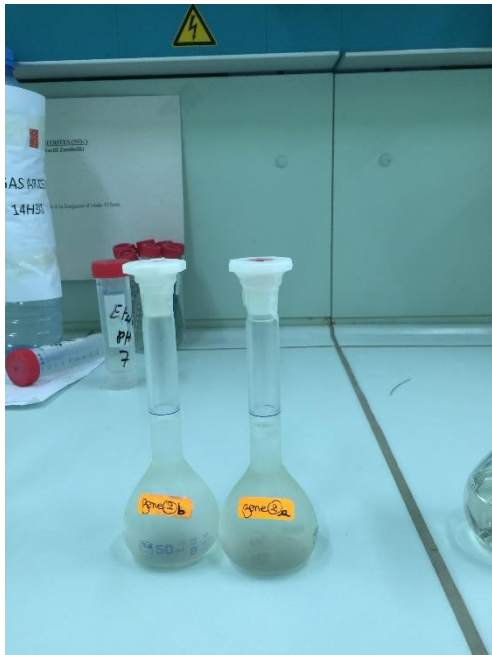


Figure 33 : jaugeage à 50ml après 24h de filtration (exp : zone 2).



Figure 34 : les six solutions prêtes pour analyse (exp : site urbain).

5.5. Choix du métal

En dehors de l'aspect toxicité, les éléments qui ont permis d'orienter le choix des métaux à étudiés sont les suivants. L'aspect quantitatif, avec le bilan réalisé sur les sources d'émission de polluants en milieu routier a mis en évidence que les principaux éléments traces métalliques émis par le trafic et les infrastructures routières sont le cuivre, le plomb, le zinc, le fer, le cadmium, le nickel et le chrome.

Élément très toxique, le plomb, est issue de la combustion des carburants contenant au plomb tétraéthyl et /ou du plomb tétraméthyl, il provient également, à un moindre degré, des substances anti-usure des lubrifiants (Malbreil, 1997). Le cuivre provient à 99,9% de l'usure des garnitures de freins, sa source est quasi unique, alors que le zinc a des sources plus variées. D'autre part le comportement chimique du zinc est très différent de celui des autres polluants car le zinc est un oligo-élément. Mais devient toxiques à fortes concentrations. Une surconsommation de zinc chez les plantes entraîne divers symptômes tels qu'un ralentissement de la croissance, des malformations des feuilles et des tiges, et une chlorose (tâches sombres sur les feuilles) (Kabata-Pendias, 1992).

5.6. Analyse des éléments

L'analyse des échantillons est réalisée par spectrométrie d'absorption atomique (SAA), cette dernière est une technique décrite pour la 1ère fois par Walsh en 1955. Elle fournit un puissant instrument analytique quantitatif.

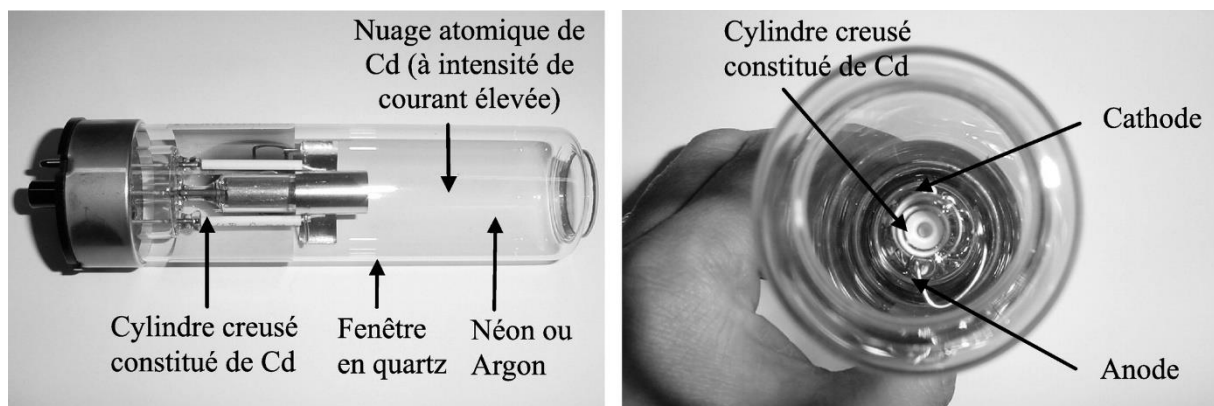


Figure 35 : Une lampe à cathode creuse pour dosage du Cadmium.

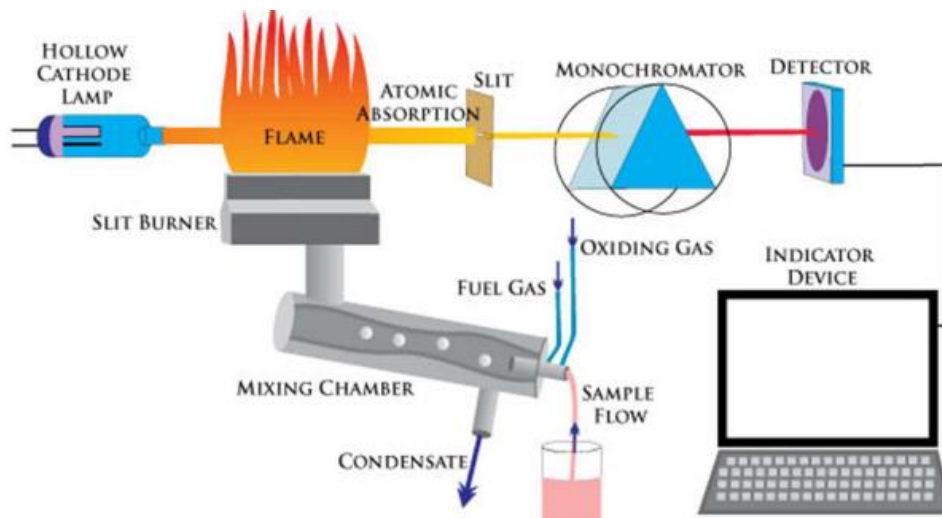


Figure 36 : Principe d'un spectrophotomètre d'absorption atomique de flamme.

<https://fmedecine.univ-setif.dz/ProgrammeCours/La%20spectroscopie%20atomique%20Cours%20de%20Chimie%20Analytique%203eme%20ann%C3%A9e%20pharmacie%20Dr%20ADOUANI.pdf>

Les métaux recherchés dans les échantillons « Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb et Zn » sont soumis à une analyse par "spectroscopie d'absorption atomique dans la flamme" : du FAAS (Rayleigh WFX-130B AAS). Une flamme air/acétylène est utilisée pour l'excitation des atomes de métal et des lampes spécifiques pour chaque métal sont utilisées pour la détection de chaque élément.

La limite de détection des polluants dans les plantes est, selon la méthode utilisée : 0,01 mg / kg pour le Cd, 0,05 mg / kg pour le Cr, 0,13 mg / kg pour le Cu, 0,045 mg/kg pour le Fe, 0,03 mg / kg pour le Ni, 0,1 mg / kg pour le Pb et 0,007 mg / kg pour le Zn.

Les analyses par SAA ont été réalisées au niveau du laboratoire AFAK sis à Oran.



Figure 37 : Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme utilisé pour l'analyse.



Figure 38 : Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme utilisé pour l'analyse.

5.7. Analyse statistique

Les données obtenues pour chaque paramètre, sont interprétées statistiquement au moyen de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) qui est un outil extrêmement puissant de compression et de synthèse de l'information, très utile lorsque l'on est en présence d'une somme importante de données quantitatives à traiter et interpréter.

L'ACP est une analyse factorielle, en ce sens qu'elle produit des facteurs (ou axes principaux) qui sont des *combinaisons linéaires* des *variables* initiales, hiérarchisées et indépendantes les unes des autres. On appelle parfois ces facteurs des « dimensions latentes », du fait qu'ils sont l'« expression de processus généraux dirigeant la répartition de plusieurs phénomènes qui se retrouvent ainsi corrélés entre eux » (Béguin et Pumain, 2000).

L'ACP sert à mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles. Le principe de l'ACP consiste à remplacer une famille de variables par de nouvelles variables de variance maximale, non corrélées deux à deux et qui sont des combinaisons linéaires des variables d'origine.

Ces nouvelles variables, appelées composantes principales, définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales.

L'interprétation des résultats se restreint généralement aux deux premiers plans factoriels, sous réserve que ceux-ci expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales.

6.1. Teneurs des métaux lourds

Les résultats obtenus sont intéressants et constituent une première dans les deux sites étudiés. Ils sont récapitulés dans les tableaux et les figures suivantes :

6.1.1. Teneurs en métaux lourds dans les aiguilles de pin d'Alep au niveau du site urbain

Tableau 19 : Concentrations des métaux lourds des aiguilles de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau du bosquet de Sidi Bel Abbas.

Métaux	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Moyenne
Fe	375,00	274,30	232,00	293,77
Cu	146,00	93,60	74,20	104,60
Ni	77,20	32,70	24,20	44,70
Pb	398,10	310,00	267,70	325,27
Zn	362,00	122,10	123,40	202,50
Cd	32,00	25,70	11,00	22,90
Cr	221,80	153,00	110,80	161,87
Total	1612,10	1011,40	843,30	1155,60

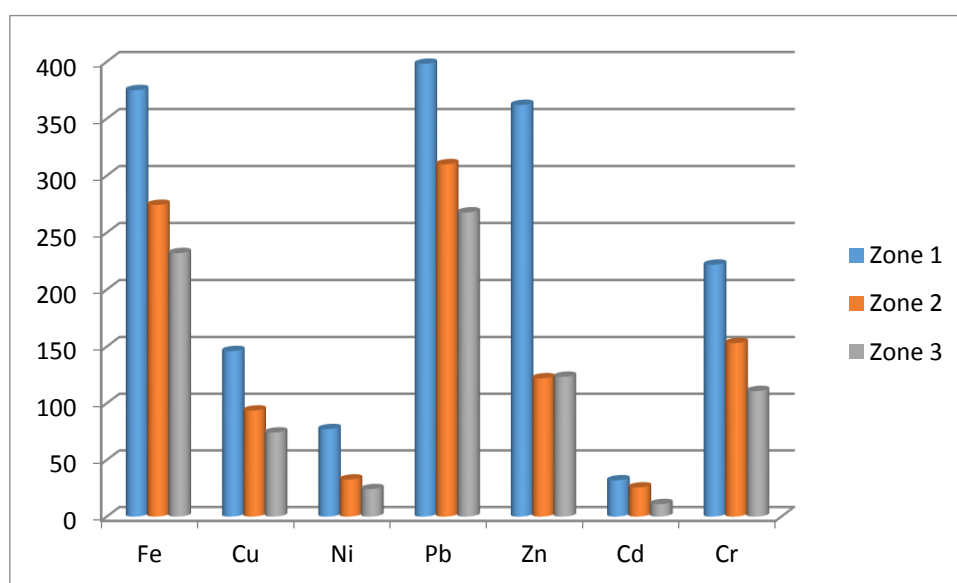


Figure 39 : Diagramme représentant la concentration des métaux lourds des aiguilles de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau du bosquet de Sidi Bel Abbas.

6.1.2. Teneurs en métaux lourds dans la litière de pin d'Alep au niveau du site urbain

Tableau 20 : Concentrations des métaux lourds de la litière de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau du bosquet de Sidi Bel Abbas.

Métaux	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Moyenne
Fe	385,30	345,50	298,50	343,10
Cu	213,10	200,50	227,20	213,60
Ni	92,30	197,20	197,30	162,27
Pb	405,70	378,70	351,60	378,67
Zn	370,00	310,20	256,00	312,07
Cd	157,00	114,10	111,30	127,47
Cr	244,70	209,40	246,90	233,67
Total		1868,10	1755,60	1688,80

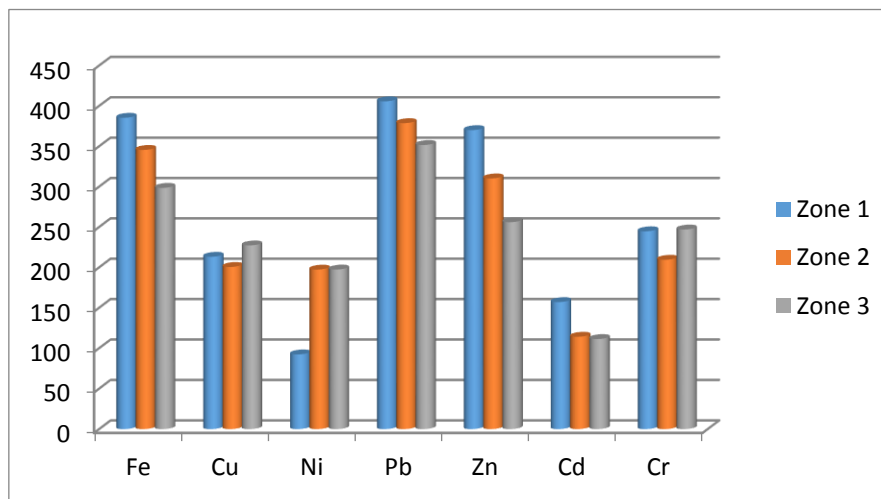


Figure 40 : Diagramme représentant la concentration des métaux lourds de la litière de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau du bosquet de Sidi Bel Abbas.

6.1.3. Teneurs en métaux lourds dans les aiguilles de pin d'Alep au niveau du site rural

Tableau 21 : Concentrations des métaux lourds des aiguilles de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau de la station - service de Télagh.

Métaux	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Moyenne
Fe	402,00	290,50	245,30	312,60
Cu	212,40	200,60	166,80	193,27
Ni	70,00	47,00	39,40	52,13
Pb	462,30	387,20	325,60	391,70
Zn	366,10	199,50	136,00	233,87
Cd	45,00	40,00	28,00	37,67
Cr	196,80	176,50	124,00	165,77
Total	1754,60	1341,30	1065,10	1387

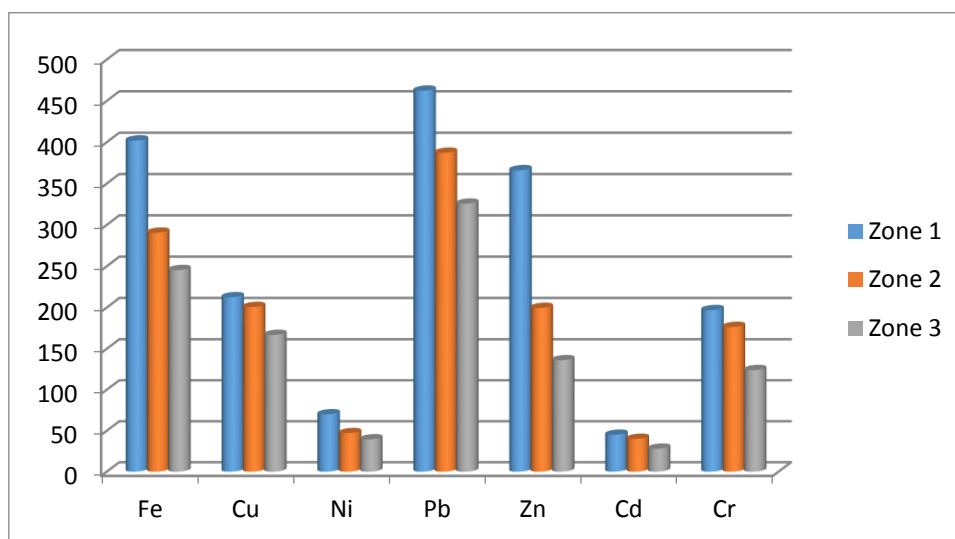


Figure 41 : Diagramme représentant la concentration des métaux lourds des aiguilles de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau de la station - service de Télagh.

6.1.4. Teneurs en métaux lourds dans la litière de pin d'Alep au niveau du site rural

Tableau 22 : Concentrations des métaux lourds de la litière de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau de la station - service de Télagh.

Métaux	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Moyenne
Fe	427,00	400,50	352,00	393,17
Cu	356,30	312,30	253,30	307,30
Ni	103,10	211,80	218,00	177,63
Pb	524,50	533,70	399,80	486,00
Zn	400,20	382,00	288,00	356,73
Cd	89,60	109,70	117,40	105,57
Cr	319,00	289,00	244,00	284,00
Total	2 219,70	2 239,00	1 872,50	2 110,40

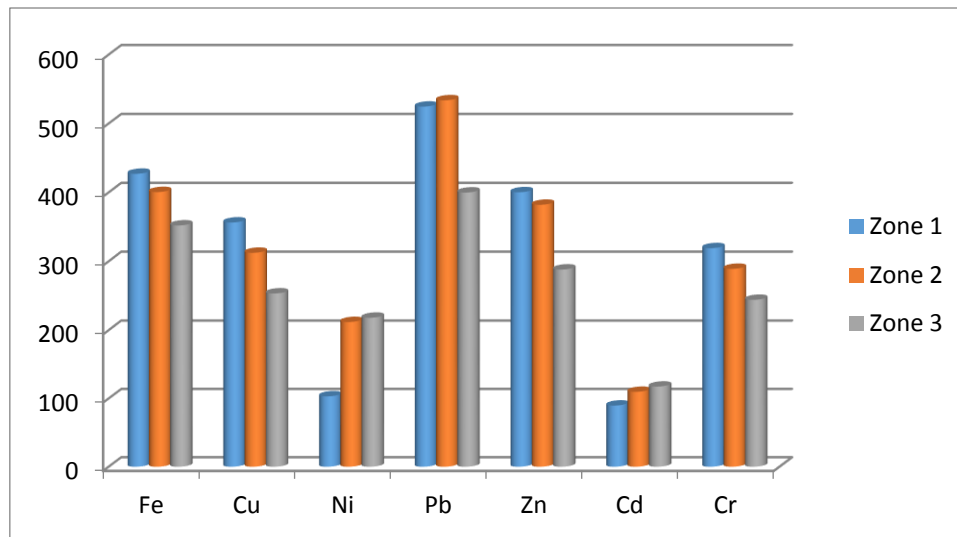


Figure 42 : Diagramme représentant la concentration des métaux lourds de la litière de Pins d'Alep « mg/kg » au niveau de la station - service de Télagh.

6.2. Interprétation des teneurs enregistrées

Les concentrations de Zn, de Pb, de Fe, de Cu, de Ni, de Cd et de Cr dans la zone 1 sont plus élevées dans le site rural. Néanmoins, la concentration de plomb reste la plus importante dans cette zone. Les concentrations de Pb et de Zn indiquent la présence d'une contamination issue du trafic routier (Duong et Lee, 2011).

Belhadj (2009), dans la région de Sidi Bel Abbas avance pour le pin d'Alep une fluctuation du plomb entre 1.66 et 5.65 ppm due au trafic automobile. Pour la teneur en zinc elle oscille entre 122 et 266 ppm, pour le cuivre elle est de 0.05 à 0.95 ppm.

Les tableaux 19 et 20 et figures 39 et 40 indiquent que la contamination par le plomb est la plus élevée dans la zone 1 au niveau du site rural (462,3 mg / kg) et du site urbain (398,6 mg/kg). Comme le rapporte **Christoforidis et Stamatis (2009)**, la source principale du plomb est directement associée aux émissions des gaz d'échappement des véhicules, qui utilisent encore de l'essence au plomb.

Les Tableaux « 19, 20, 21 et 22 » et figures « 39, 40, 41 et 42 » montrent que les concentrations de métaux lourds au niveau des zones « 1, 2, 3 » du site urbain sont relativement inférieures à celles observées dans les zones « 1, 2, 3 » du site rural qui se situe à proximité de la station-

service. Par ailleurs, en comparant les différentes Zones d'échantillonnage d'aiguilles de Pins et de la litière au niveau du site urbain et rural, on constate que la Zone1 est la plus riche en métaux lourds, suivie de la Zone2, puis de la Zone 3. En tant que tel : Zone1 > Zone2 > Zone3.

Les principaux polluants métalliques émis dont le plomb, le zinc et le fer sont principalement présents dans les gaz d'échappements et dans les garnitures de freins (75% du plomb contenu dans l'essence est émis dans les gaz d'échappement des moteurs), mais le zinc est également présent dans les pneumatiques, les lubrifiants et surtout dans les glissières de sécurité. (Deletraz, 2000).

Les résultats au niveau des Fig. 39, 40, 41, 42 montrent que le cuivre, le Zn et le cadmium sont couramment présents dans les zones rurales et urbaines, ces mêmes résultats sont rapportés par Christoforidis et Stamatis (2009).

Les sources chroniques d'éléments traces métalliques en milieu routier ont deux origines : les véhicules et les infrastructures routières. Les émissions polluantes liées aux véhicules sont dues en partie, à l'abrasion et à la corrosion des matériaux constitutifs du véhicule et en d'autre partie à l'utilisation de différents fluides (huiles, etc..). Le trafic et les infrastructures routières sont à l'origine d'une source importante en métaux lourds dans l'environnement (Delmas-Gadras, 2000).

L'entrée du plomb dans la fabrication des batteries et les carburants ont fait que les concentrations atmosphériques ont augmenté de façon considérable (Rhue et *al.*, 1992).

L'utilisation de plomb dans l'essence est cependant encore courante dans les pays en développement (Menkes et Fawcett, 1997). Ainsi, le plomb est le métal ayant connu la plus grande dispersion d'origine anthropique à l'échelle du globe (Rhue et *al.*, 1992).

En Algérie, l'adjonction du plomb dans l'essence est de 0,45 g/l (Semadi et Deruelle ; 1993). Le plomb atmosphérique, issue du trafic routier, est dû entre autre à la consommation des carburants par les véhicules. Ce plomb est rejeté dans l'air sous forme d'aérosols à un taux de 75 %. Le zinc est également présent dans les pneumatiques, les lubrifiants et surtout dans les glissières de sécurité. Tandis que les freins constituent une importante source de cuivre. (Deletraz, 2002). Ces données viennent confirmés nos résultats.

Les végétaux sont utilisés, non seulement pour l'observation des symptômes d'attaque qu'ils manifestent, mais encore comme collecteurs de poussières (Ozenda, 1982).

Les polluants de l'atmosphère, principalement les émissions de poussières ont un impact profond sur la concentration des différents pigments photosynthétiques. En effet, Il y a une corrélation négative entre les dépôts de poussière et les teneurs en chlorophylles dans les aiguilles de pin d'Alep Les effets de la pollution relient la réponse physiologique des plantes à l'accélération du processus de sénescence et/ou dépérissement. Une des manifestations évidentes de la sénescence des plantes est la disparition graduelle de la chlorophylle, associée au jaunissement des feuilles pouvant être lié à une baisse conséquente de la capacité de photosynthèse (Dellaa, 2018).

D'une manière générale se sont les pins à aiguilles persistantes qui sont les plus sensibles au dépérissement (Garrec, 1996).

De nombreuses études ont mis en évidence la capacité du pin d'Alep à capturer et à retenir de nombreux éléments. Effectivement ces dernières ont permis de renseigner l'efficacité de capture des éléments par les aiguilles de pin Le pin d'Alep absorbe directement l'eau et les éléments nutritifs, mais aussi les polluants présents dans les dépôts atmosphériques humides ou secs. Le dépôt des éléments traces métalliques se fait soit par les aiguilles soit à l'intérieur même de l'arbre du pin d'Alep au niveau des tissus. L'accumulation de ces éléments est facilitée par le grand rapport surface/volume des tissus des végétaux (Dellaa, 2018).

L'utilisation des aiguilles du pin d'Alep, dans la quantification des métaux lourds émis par les véhicules, a révélé des résultats très intéressants.

En effet, nous relevons une variabilité des teneurs en plomb, zinc, cuivre, fer, nickel, cadmium et chrome dans les deux sites dans la ville de Sidi Bel Abbes. Le site rural où la concentration des métaux lourds (Pb, Zn, Fe, Cd, Ni, Cr et Cu) est la plus élevée, connaît un trafic routier des poids lourds important et du coup une libération plus intense des gaz d'échappement en plus de la présence de la station d'essence qui génère plus de polluants et plus de circulation automobile ce qui entraîne un degré très élevé de pollution.

Le site urbain ou la pollution par les métaux lourds (Pb, Zn, Fe, Cd, Ni, Cr et Cu) est moins élevée que le site rural, connaît un trafic routier des véhicules légers très important et aussi la

présence des parkings de stationnement, du coup une libération intense des gaz d'échappement ce qui entraîne une pollution très élevée par les métaux lourds.

Les zones moins polluées (zones 3) dans le site urbain et le site rural sont moins exposées au trafic routier.

Suites aux résultats obtenus, nous pouvons affirmer la possibilité d'utilisation du *pinus halepensis* comme espèce bioaccumulatrice. En effet, Aceto et al (2003) soulignaient la possibilité d'utiliser l'espèce *pinus halepensis* comme indicatrice de la pollution due aux éléments traces métalliques.

De même que Garrec (1996), trouve une corrélation significative entre le pin d'Alep et l'intensité du trafic routier. Cet auteur supposait que l'enrichissement des aiguilles de pin par les particules est principalement dû à la pollution liée à la circulation automobile.

6.3. Synthèse des résultats entre les deux sites d'étude

Tableau 23 : Synthèse des résultats de concentration des métaux lourds « mg/kg » au niveau des deux sites d'étude.

Métaux	Bosquet Sidi Bel Abbes « Site urbain »		Station-service Télagh « Site rural »		Ecart	
	Aiguille	Litière	Aiguille	Litière	Aiguille	Litière
Fe	293,77	343,10	312,60	393,17	+ 18.83	+ 50.07
Cu	104,60	213,60	193,27	307,30	+ 88.67	+ 93.70
Ni	44,70	162,27	52,13	177,63	+ 7.43	+ 15.36
Pb	325,27	378,67	391,70	486,00	+ 66.43	+ 107.33
Zn	202,50	312,07	233,87	356,73	+ 31.37	+ 44.66
Cd	22,90	127,47	37,67	105,57	+ 14.77	- 21.90
Cr	161,87	233,67	165,77	284,00	+ 3.90	+ 50.33
Total	1 155,60	1 770,83	1 387,01	2 110,40	+ 231.40	+ 339.57

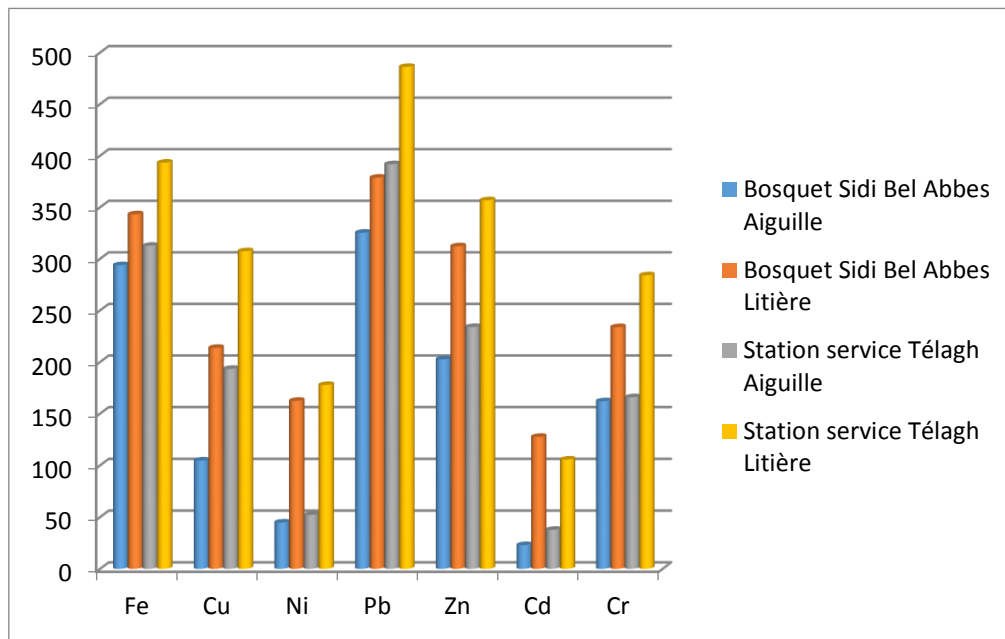


Figure 43 : Diagramme représentant la synthèse des résultats de concentration des métaux lourds « mg/kg » au niveau des deux sites d'étude.

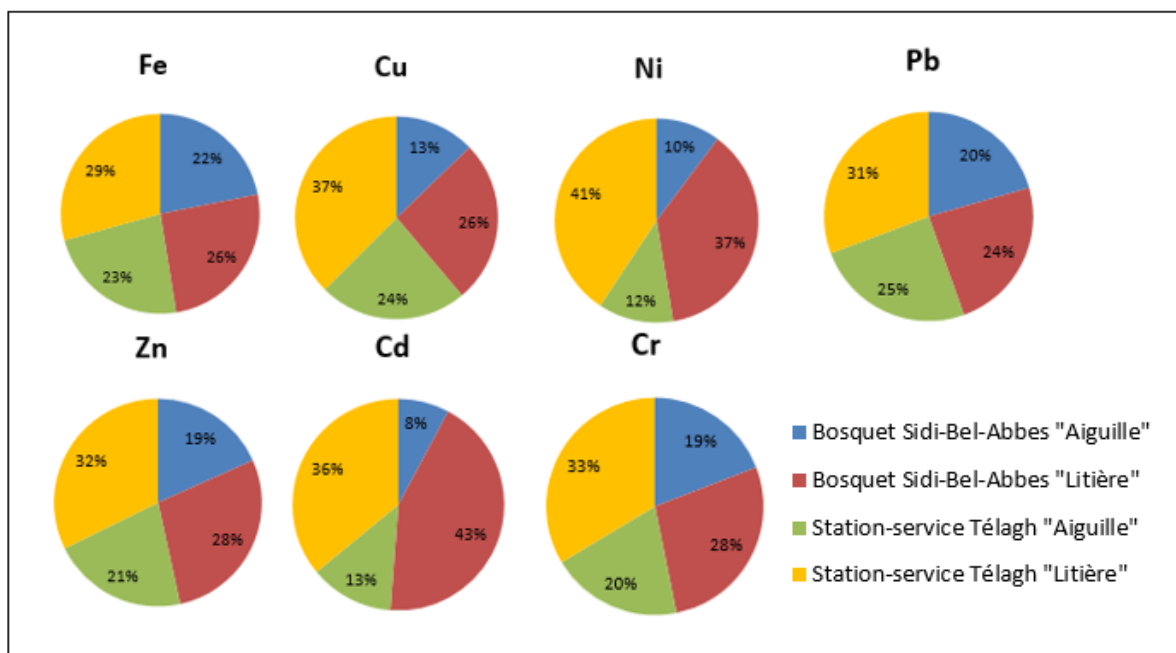


Figure 44 : représentation en pourcentage de chaque métal dans les aiguilles de Pins d'Alep et de sa litière au niveau des deux sites d'étude.

Le tableau 23, montre les moyennes de concentrations en métaux lourds au niveau des deux sites d'observation. Les chiffres sont assez élevés pour pratiquement tous les métaux lourds évalués. Il est enregistré pour les aiguilles un total de 1 155,60 mg/kg et 1 387,01 mg/kg

respectivement pour le site urbain et rural. Les concentrations dans la litière sont de 1 770,83 mg/kg et 2 110,40 mg/kg respectivement pour le site urbain et rural.

L'écart total comparé entre les aiguilles dans le site urbain et rural est chiffré à + 231.40 mg/kg ainsi que pour la litière estimé à + 339.57 mg/kg. Cette augmentation de la concentration au niveau de l'espace rural est justifiée par la forte circulation et le stationnement au niveau de la station-service. Le flux de véhicules induisant une perturbation des particules fines et leur soulèvement ainsi que les rejets de combustion agissent également sur cette forte concertation.

Selon la Fig.43 et la Fig.44, la litière contient beaucoup plus de métaux lourds par rapport à ceux des aiguilles de Pins au niveau des sites le Bosquet et la station-service « Telagh ».

Tableau 24 : Classification des métaux lourds selon leur concentration

Site urbain		Site rural	
Aiguilles	Litière	Aiguilles	Litière
Pb	Pb	Pb	Pb
Fe	Fe	Fe	Fe
Zn	Zn	Zn	Zn
Cr	Cr	Cu	Cu
Cu	Cu	Cr	Cr
Ni	Ni	Ni	Ni
Cd	Cd	Cd	Cd

Le tableau 24, détermine la classification des métaux lourds selon leurs concentrations par ordre décroissant au niveau des deux sites d'étude. Pour le site urbain Pb> Fe> Zn> Cr> Cu> Ni> Cd, et pour le site rural Pb> Fe> Zn> Cu> Cr> Ni> Cd.

On constate que la poussière de route enrichies en Cr provenant de notre site urbain présente des concentrations total plus élevées que celles de notre site rural. En effet Apeageyi *et al.* (2011) observe que les poussières routières urbaines étaient enrichies de manière significative en Cr par rapport aux poussières de routes rurales. Selon Pagotto *et al.*(2001), Les concentrations totales de métaux lourds dans la poussière de route provenaient essentiellement des autoroutes. Avec des véhicules roulant à 80 km/h, les teneurs en métaux lourds dans les poussières de route étaient beaucoup plus élevées que celles émises par les véhicules circulant à 50 km/h (Duong et Lee, 2011).

Il a été déterminé que les principales sources de Ni étaient les émissions de gazole, l'abrasion des freins et la corrosion des véhicules. Le Cu provenait principalement de l'abrasion des freins et des gaz d'échappement de la combustion. La concentration de zinc a été influencée par les émissions des véhicules et l'usure des pneus (Duong et Lee, 2011).

La présence du cuivre dans la poussière de rue peut provenir de l'usure des moteurs des automobiles, tandis que l'usure des pneus et des huiles de lubrification constitue une source possible de zinc et de cadmium (Akhter et Madany, 1993). L'exposition à l'halogène et aux émissions de polluants issus de la circulation automobile a été jugée préjudiciable à la santé humaine et associée à un risque accru de maladie respiratoire (Tsai *et al.*, 1999; Claiborn *et al.*, 2002; Lin *et al.*, 2002; Sinclair et Tolsma, 2004 ; Hirshon *et al.*, 2008).

Par ailleurs, une étude menée par Al-Sarraj et Jankeer (2020), conclu que l'activité toxique de divers polluants tels que le plomb et le cadmium conduit à l'inhibition de l'activité de l'enzyme acétylcholinestérase (AChE) dans le cerveau des êtres vivants.

6.4. Analyse en Composantes Principale (ACP)

Le but de l'analyse en Composante Principale est de tirer le maximum d'information tout en explorant un ensemble d'observations de valeurs quantitatives. Pour notre travail, on a voulu voir la répartition et l'interaction des sept variables (Fe, Cr, Cd, Ni, Pb, Zn et Cu) dans les deux sites de prélèvements.

Cette analyse on va l'appliquer entre les teneurs en métaux lourds des aiguilles de Pin d'Alep et de la litière au niveau du site urbain et rural pour mieux éclairer les observations.

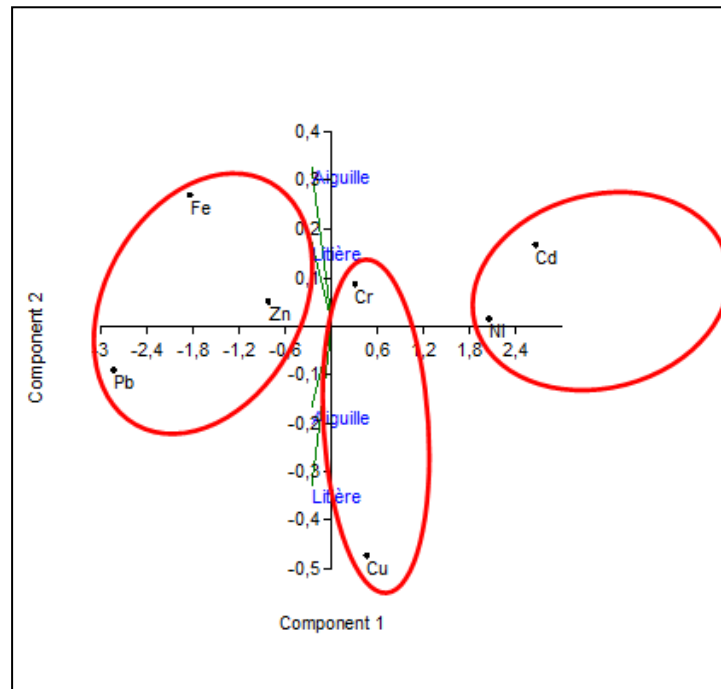


Figure 45 : Résultats de l'analyse des composantes principales entre les teneurs en métaux lourds des aiguilles de Pins et de la litière au niveau du site urbain et rural. L'analyse en composante principale (ACP) « Fig.45 » à partir des 7 variables (Tableaux 19, 20, 21, 22) a donné trois groupes de corrélation.

Sur le plan factoriel (F1/F2), l'axe F1 apporte le plus d'information dans l'ACP (F1= 97.90% d'inertie) comparativement à l'axe F2 (F2= 1,42%), F1 sépare les échantillons en fonction de leur teneur en éléments chimiques, Ces axes montrent une bonne répartition et représentation des variables étudiés. L'axe F1 est exprimé par la présence de Cd, Ni, Cr dans le sens positif et Fe, Pb, Zn dans le sens négatif. L'axe F2 est constitué par le Cu dans le sens négatif

Groupe 1 : se trouve dans la partie négative de l'axe F1 et une partie du côté positive de l'axe F2, il est représenté par aiguilles et litière de pin. il regroupe essentiellement le fer (Fe) (-1,8277), le plomb (Pb)(-2,8177) et le zinc (Zn) (-0,82645).

Groupe 2 : se trouve dans la partie positive de l'axe F1 et une partie du côté négative F2. Il est représenté par aiguille et litière, il regroupe essentiellement le Chrome (Cr) (0,30983) et le cuivre (Cu)(-0,47657).

Groupe 3 : se trouve dans la partie positive de l'axe F1, il regroupe essentiellement le cadmium (Cd)(2,6556) et le nickel (Ni)(2,0425).

Ce regroupement est dominé par les métaux lourds provenant de la pollution atmosphérique, qui met en évidence une pollution métallique d'origine anthropique liée aux activités routières.

6.5. Conséquences sanitaires de la pollution atmosphérique par les métaux lourds

La pollution de l'air ou pollution atmosphérique est un type de pollution caractérisé par une altération des niveaux de qualité et de pureté de l'air.

Cette dégradation est causée par un ou plusieurs éléments (particules, substances, matières...) dont les degrés de concentration et la durée de présence sont suffisant pour produire un effet toxique et/ou écotoxique. Ce qui explique que ce genre de pollution est un enjeu de santé publique, au niveau mondiale comme individuel.

La qualité de l'air que l'on respire a connu une modification importante durant cette dernière décennie, due essentiellement à « l'introduction par l'homme » directement ou indirectement, dans l'atmosphère, de substances ayant des conséquences préjudiciables mettant en danger la santé humaine. Toutes les activités humaines portent atteinte à la qualité de l'air que nous respirons et engendrent une pollution atmosphérique. La nature elle-même à travers les pollens, les volcans,.....participe aussi à cette pollution.

Concrètement, l'OMS estime qu'un décès sur 8 dans le monde est lié à une maladie provoquée par la pollution de l'air et souligne que la réduction de la pollution permettrait « *de sauver des millions de vies dans le monde* »

Dans la plupart des villes algériennes, les principales sources de pollution atmosphérique sont directement liées à la densité du trafic automobile, en croissance constante avec des véhicules utilisant le plus souvent des carburants non conformes aux règles édictées en matière de protection de l'environnement. Cette pollution affecte la plupart des grandes agglomérations (Alger, Oran, Sidi Bel Abbes, Constantine et Annaba).

En Algérie, selon le ministère de l'Environnement (2020), le secteur des transports occupe le premier rang en termes d'émissions des polluants atmosphériques avec 52%, suivi de l'industrie avec 46,25 %.

Les polluants libérés dans l'atmosphère ont des effets particulièrement néfastes et ont été reconnus comme étant à l'origine de maladies respiratoires chroniques et quelquefois sévères apparaissant chez les populations.

6.5.1. Effet des métaux lourds sur la santé humaine

Effet du plomb sur la santé humaine

Du fait de ses sources d'émission, le plomb peut se trouver dans différents milieux naturels (air, eau, sols), et par conséquent dans les plantes, dans les animaux et ainsi dans les aliments. Il peut également se retrouver dans certains éléments de l'habitat comme les anciennes peintures (Maherou et *al.*, 2013).

La principale voie d'absorption du plomb par l'organisme est digestive, par le lait, l'eau ou les boissons. Les jeunes enfants constituent la population cible de l'intoxication au plomb pour trois raisons. La première, c'est que leur absorption digestive est plus importante que celle de l'adulte (50 % du plomb ingéré passe dans le sang chez l'enfant et 10 % chez l'adulte). Ensuite, le système neurologique des enfants étant en phase de développement, ils sont plus sensibles à ce polluant. La dernière raison relève du comportement des enfants car ils ont tendance à porter des objets à la bouche et peuvent ainsi ingérer des écailles de peintures et de poussières contenant du plomb : c'est le mode de contamination majeur de l'enfant. L'absorption pulmonaire peut jouer un rôle important pour les expositions professionnelles ou pour les personnes vivant sous les rejets atmosphériques d'entreprises polluantes, puisque 20% à 30% du plomb inhalé est absorbé par l'organisme (Maherou et *al.*, 2013).

Une fois dans l'organisme, le plomb se distribue dans le sang, les tissus et surtout l'os dans lequel il s'accumule, pouvant y rester stocké très longtemps.

Les effets sanitaires du plomb varient selon la gravité de l'intoxication, mais sont essentiellement neurologiques. La toxicité causée à long terme par ce métal est appelée « saturnisme », lorsque la plombémie (taux de plomb dans le sang) est supérieure ou égale à 100 µg/l chez l'enfant mineur. Elle peut avoir des effets sur les systèmes nerveux, hématopoïétique et cardio-vasculaire. A forte dose, le plomb provoque des troubles neurologiques, hématologiques et rénaux. Il peut entraîner chez l'enfant des troubles du développement cérébral, avec des perturbations psychologiques et des difficultés d'apprentissage scolaire. (Krupnick et *al.*, 1990 ; Abbey et *al.*, 1995 ; Burnett et *al.*, 1999 ; Stieb et *al.*, 2000 ; Maherou et *al.*, 2013).

Effet du zinc sur la santé humaine

Le zinc est un élément qui est essentiel pour la santé de l'homme. Lorsqu'on absorbe trop peu de zinc on peut alors avoir une perte de l'appétit, une diminution des sensations de goût et d'odeur, les blessures cicatrisent lentement et on peut avoir des plaies. Les carences en zinc peuvent aussi provoquer des problèmes lors des naissances (Maherou et *al.*, 2013).

Bien que l'homme puisse proportionnellement gérer des quantités importantes de zinc, trop de zinc peut tout de même provoquer des problèmes de santé importants, comme des crampes d'estomac ; des irritations de la peau, des vomissements, des nausées, de l'anémie. De très hauts niveaux de zinc peuvent endommager le pancréas et perturber le métabolisme des protéines. Une exposition intensive au chlorure de zinc peut provoquer des désordres respiratoires.

Le zinc peut être un danger pour les enfants à naître et les nouveau-nés. Quand la mère a absorbé des concentrations importantes de zinc, les enfants peuvent y être exposés par le sang ou la consommation de lait (Maherou et *al.*, 2013).

Effet du cuivre sur la santé humaine

On peut trouver du cuivre dans l'eau, l'air et dans beaucoup de types d'aliments. Les aliments les plus riches en cuivre sont le foie de veau, d'agneau, le chocolat, le thé et le café.

L'absorption de cuivre est nécessaire, car c'est un élément essentiel pour la santé. Mais une exposition à des quantités excessives peut causer des problèmes de santé importants. Le cuivre peut également se retrouver dans l'eau potable par corrosion des tuyaux (Maherou et *al.*, 2013).

L'absorption du cuivre peut se faire par voie respiratoire et digestive, la voie cutanée étant négligeable. Ce composé se stocke principalement dans le foie et dans les reins. Une intoxication aiguë par inhalation peut entraîner irritation des muqueuses respiratoires et oculaires, des congestions des muqueuses nasales et du pharynx, ainsi que des ulcérations voire des perforations du septum nasal. L'absorption d'une dose unique d'un dérivé du cuivre par ingestion donne lieu à des douleurs épigastriques, des céphalées, des nausées, des étourdissements, des vomissements, de la diarrhée, de la tachycardie, des difficultés respiratoires, de l'anémie, et une insuffisance hépatique et rénale aboutissant à la mort. Une exposition au cuivre à long terme peut provoquer une irritation au nez, à la bouche et aux yeux et peut provoquer des maux de tête, des maux d'estomac, des vertiges, des vomissements et des diarrhées (Maherou et *al.*, 2013).

6.5.2. Effet de la pollution de l'air sur la population Belabésienne

Suite aux résultats obtenus des teneurs de pollution de l'air par le plomb, le zinc, le cuivre, le fer, le nickel, le cadmium et le chrome ; nous avons constaté qu'un très grand nombre d'habitation des administrations et quelques écoles qui sont localisées près des deux sites d'étude qui correspondent à une pollution très élevée en métaux lourds, sachant que les plus importants dommages liés à la pollution de l'air concernent la santé humaine.

Les données démographiques et épidémiologiques actuellement disponibles permettent d'évaluer l'importance de la morbidité respiratoire et son évolution prévisible.

Selon l'OMS, les infections des voies respiratoires sont la deuxième cause de décès prématurés dans le monde en 2016, après les cardiopathies (OMS, 2018).

Compte tenu du caractère sérieux de la pollution de l'air à Sidi Bel Abbes, nous avons effectué une enquête sur les maladies respiratoires au cours de l'année 2017 et 2020.

Au cours des 6 premiers mois de l'année 2017, l'établissement public hospitalier de Sidi Bel Abbes avez enregistré 238 cas d'asthme, alors qu'en 2020 (Fig.44) nous avons enregistré 277 cas admis pour problèmes d'asthmes dont 42 % hommes et 58 % femmes.

Nous remarquons également que le nombre d'enfants asthmatiques hospitalisés sont de 295 enfants, ceci est enregistré uniquement durant les 6 premiers mois de 2020. En effet, nous constatons que 67% sont âgés de moins de 5 ans dont 10 % sont âgés de moins de 1 an.

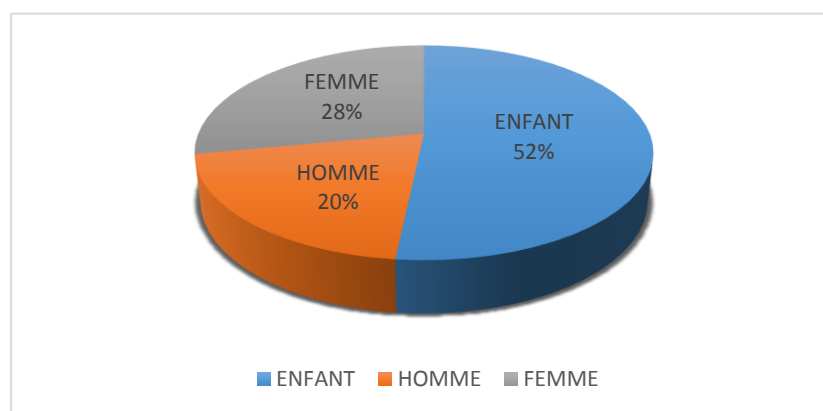


Figure 46 : Nombre d'asthmatiques hospitalisé durant le premier semestre 2020
(Etablissement public hospitalier de Sidi Bel Abbes, 2021)

Egalement nous avons effectué une prospection dans les établissements scolaires (Lycées, CEM et Primaires) de la ville de Sidi Bel Abbès, cette prospection nous a permis de constater que les écoles situées près des deux sites d'étude, avaient chaque année une dizaine de nouveaux cas d'asthme et des problèmes respiratoires.

Egalement certains établissements scolaires localisés dans le centre-ville où la circulation automobile atteint son maximum, affirment l'évolution des maladies cardiaques, comme par exemple le cas dans un primaire, d'après le directeur, sur 610 élèves 20 ont un problème cardiaque et il note la présence croissante et aggravée de problème d'allergie.

Alors que dans les zones où le trafic routier est mineur, les établissements scolaires n'endurent pas autant de ces maladies que ce soit respiratoires ou cardiaques en revanche il reste toujours le problème des allergies mais moins grave que les établissements localisés dans les zones dont le trafic routier est plus dense.

Ces résultats confirment les prévisions faites par le ministère de l'environnement en 2015, où il a prévu que chaque année, 10 à 12 millions d'algériens auront à consulter un médecin pour des maladies respiratoires liées à, ou aggravées par la pollution atmosphérique. Selon les prévisions sur 2015, environ 300 000 algériens seront atteints de pneumonie et 700 000 d'asthme. Pour la bronchite chronique, 250 000 algériens souffriront de cette maladie, alors que pour le cancer bronchique primitif, ils seront de l'ordre de 3 600 personnes.

Tout le monde s'accorde sur le fait que le secteur des transports est essentiel au développement économique et social. Le désir d'une mobilité facilitée et accrue est aussi très largement partagé dans le monde. Mais en Algérie, même si les avantages de ce secteur sont énormes, les transports représentent, selon les spécialistes, l'une des causes principales de la pollution atmosphérique, surtout en milieu urbain. Ils sont également à l'origine de la forte dégradation de la qualité de l'air et mettent sérieusement en danger la sécurité sanitaire des populations. La pollution automobile est assurément un fléau de la vie moderne, voire un véritable problème de santé publique, selon les médecins.

Des chiffres qui donnent froid au dos sur les cas de maladies respiratoires causées par la pollution, annoncés par Nafti (2013) lors de la 3^{ème} journée de pneumologie, huit (08) millions d'algériens sont touchés chaque année par les affections respiratoires dont 500.000 font des complications graves. 28 à 30 cas de cancer des poumons dus à la pollution sont enregistrés par

an sans oublier les 3,4% de cas d'asthme et 3,7% de BPCO (Bronchopneumopathie chronique obstructive). Quant à la tuberculose, nous sommes à 25 cas pour 100.000 habitants. Médecins et pneumologues tirent la sonnette d'alarme sur ces maladies qui progressent de façon inquiétante et dont le facteur de risque est la pollution. Les médecins plaident pour des solutions radicales afin de limiter les dégâts. L'application des lois avec rigueur et la sanction sont les seuls moyens qui peuvent réduire le taux de ces maladies qui risquent de progresser rapidement si des mesures ne sont pas prises. Selon Nafti (2013), l'Algérie importe 250.000 véhicules par an. Tous ces véhicules circulent dans la nature au moins dix heures par jour, dégageant des tonnes et des tonnes de déchets.

L'augmentation importante et rapide du nombre de véhicules à moteur, en particulier des véhicules à moteurs anciens et/ou utilisant des combustibles de mauvaise qualité, de même que l'augmentation de la production d'énergie provenant du charbon et autres combustibles sales, exposent les populations à des risques plus élevés pour la santé dus à la pollution de l'air. Pour y remédier, l'OMS estime que «les villes peuvent recenser leurs principales sources de pollution atmosphérique, et mettre en œuvre des politiques dont on sait qu'elles améliorent la qualité de l'air, par exemple : promotion des transports publics, de la marche et du vélo (plutôt que des transports reposant en grande partie sur les véhicules à moteur privés).

Conclusion générale et perspectives

Les quantités de polluants accumulés par les plantes sont analysées et quantifiées pour permettre une estimation relative de la qualité de l'air. Cette corrélation donne de bonnes appréciations sur l'impact de la pollution atmosphérique sur les végétaux. Les résultats obtenus peuvent être classés dans le concept de la bio-surveillance végétale, ils visent aussi à l'amélioration des connaissances dans le domaine de la pollution atmosphérique pour évaluer les polluants de l'air liées au trafic routier.

La position géographique de l'Algérie, la rend incontournable dans toute étude sur la qualité de l'air en région méditerranéenne qui est considéré comme l'une des zones les plus sensibles du globe aux conséquences du réchauffement du climat, notamment en été, avec plus de sécheresse et plus de chaleur qui sont généralement des facteurs favorisant et aggravant la pollution atmosphérique gazeuse et particulaire.

L'évaluation de l'impact du trafic automobile sur l'air à travers la végétation dans les deux sites de la région ouest de l'Algérie (Sidi Bel Abbes et Telagh) s'est soldée par une présence importante de métaux lourds (Zn, Pb, Fe, Cu, Cd, Cr et Ni) dans les aiguilles de pin d'Alep et dans sa litière.

Dans les deux sites d'observation les chiffres sont assez élevés pour pratiquement tous les métaux lourds évalués. Il est enregistré respectivement dans le site urbain et rural pour les aiguilles un total de 1 155,60 mg/kg et 1 387,01 mg/kg, et les concentrations dans la litière sont de 1 770,83 mg/kg et 2 110,40 mg/kg respectivement pour le site urbain et rural.

Le trafic routier constitue une source importante en métaux lourds pour l'environnement. Le pin d'Alep est un très bon accumulateur de métaux lourds. En effet, on constate que la litière accumule d'avantage ces derniers en comparaison avec les aiguilles de Pin.

Les résultats montrent au niveau des deux sites d'étude que les zones les plus exposées au trafic routier (Zone 1) s'avèrent les plus polluées que les autres zones d'échantillonnage. Cependant, le site rural est plus pollué que le site urbain, cela est dû à la présence d'une station-service contenant les lubrifiants et a de circulations très dense de poids lourds durant toute l'année.

Cette étude a permis de confirmer l'intérêt de l'utilisation d'espèces végétales comme bio-accumulatrices de la contamination d'origine atmosphérique. Ces méthodes biologiques

contribuent à une évaluation des risques sanitaires par les végétaux car elles permettent de mieux identifier les zones potentiellement exposées à la pollution de l'air. Ces observations confirment également la nécessité de réduire les émissions polluantes issues du trafic routier par le renouvellement du parc automobile, l'amélioration du réglage de la combustion des moteurs, l'utilisation de carburants moins polluants tels que le GPL qui est à la fois économique et moins polluant et l'extension des espaces verts.

Selon Rahal (2015), les perspectives concernant la plateforme de modélisation conçue sont prometteuses, des simulations pourraient être utilisées comme aide pour l'implantation de futures stations de surveillances dans des sites stratégiques. Enfin, ils constitueraient une source d'informations de qualité facilement compréhensible pour les citoyens. Il s'agit d'outils de prospective et d'aide à la décision pouvant être utilisés dans le cadre de la définition de politiques d'amélioration de la qualité de l'air afin de protéger l'environnement et la santé des citoyens en Algérie.

Références bibliographiques

- Abbey DE., Le Bowitz MD., Mills PK., 1995. Long-term ambient concentrations of particulates and oxidants and development of chronic disease in a cohort of nonsmoking California residents. *Inhalation Toxicology*. **7**: 19-34.
- Abi-Saleh B., Barbero M., Nahal I., Quézel P., 1976. Les séries forestières de végétation au Li ban, essai d'interprétation schématique. *Bull. Soc. Bot. Fr.* **123**: 541-560.
- Aceto M., Abollino O., Conca R., Malandrino M., Mentasti E., Sarzanini C., 2003. The use of mosses as environmental metal pollution indicators. *Chemosphere*. **50**: 333–342.
- ADE., 2010. Algérienne Des Eaux. Situation Hydrogéographique Disponible sur : (<https://www.ade.dz/>).
- ADEM., 2001. Véhicules et carburants. Quelles alternatives à l'essence et au gazole ? ; réconciliations progrès et environnement. 20p.
- Adriano DC., 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. 2nd Edition. Springer, New York. 867p.
- Akhter MS., Madany IS., 1993. Heavy metals in street and house dust in Bahrain. *Water, Air, Soil Pollut.* **66**: 111–119.
- Alioua A., 2001. Détection de la pollution plombique d'origine automobile à l'aide de bioaccumulateurs dans l'agglomération de Skikda (N.E. Algérie). Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier Grenoble. 136 p.
- Al-Sarraj ES., Jankeer LH., 2020. Effect of pollutant of the tigris river water on activity of the acetylcholinesterase enzyme in brain tissues of *Cyprinus carpio* and *Condrostoma regium*. *Indian Journal of Ecology*. **47**(4): 949-954.
- Amblard-Gross G., Féraud., JF., Carrot F., Bonnin-Mosbah M., Maul S., Ducruet JM., Coddeville P., Béguinel P., Ayrault S., 2002. Biological fluxes conversion and SXRF experiment with a new active biomonitoring tool for atmospheric metals and trace element deposition. *Environmental Pollution*. **120**(1): 47-58
- Amri B., 2007. Pollutions et nuisances dans la ville de Constantine : effets et impacts sur l'environnement. *Sciences & Technologie D.* **26** : 21-30.
- ANDI., 2013. Agence National du Développement de l'investissement. Topographie, Agriculture et réseaux routiers de la Wilaya de Sidi Bel Abbes. Disponible sur : (<https://www.andi.dz/>).
- Apeageyi E., Bank MS., Spengler JD., 2011. Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts. *Atmos Environ.* **45**:2310–2323
- Athanasopoulou A., Kollaros G., 2016. Heavy Metal Contamination of Soil Due to Road Traffic. *American Journal of Engineering Research (AJER)* e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936. **5**(12): 354-363.
- Babacar M., 1998. La diffusion des métaux lourds autour du site des Chènevrières (Genève. Visualisation des mesures sur la feuille de chêne. Edition OF'EFP. 54p.
- Baker AJM., Walker PL., 1989. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. In : Heavy metal tolerance in plants - Evolutionary aspects. *CRC Press INC.USA*. 155-177.
- Baladès J., Cathelain M., Marchandise P., Peybernard J., Pilloy, JC., 1985. Pollution chronique des eaux de ruissellement d'autoroutes interurbaines. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées. 93-100.

- Barbastre M., 2004. Comparaison de méthodes d'analyse des Éléments Traces Métalliques ETM et des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques HAP sur les sols et les végétaux. Edition CERTU. Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Lille - *Environnement / Eau et sols*. 120 p.
- Barbero M., Chalabi N., Nahal I., Quezel P., 1976. Les formations à Conifères méditerranéens en Syrie littorale. *Ecol. Medit., Marseille*. **2** : 87-99.
- Bargagli R., 1998. Trace Elements in Terrestrial Plants. An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery. (Anglais). Edition Springer-Verlag Berlin and Heidelberg. 344p.
- Beauchamp J., 2005. L'atmosphère. Disponible sur : (<https://www.u-picardie.fr/beauchamp/mbg6/atmos.htm>).
- Beguim M., Pumain D., 2003. La représentation des données géographiques statistiques et cartographiques. Edition Armand et Colin. 192 p.
- Belhadj H., 2009. Quantification de la pollution atmosphérique due au trafic routier à l'aide de certaines espèces végétales bioaccumulatrices du (Pb, ZN, CU) dans le milieu urbain de Sidi Bel Abbés. Mémoire de magister, Université de Sidi Bel Abbés. 55p.
- Bentouati A., 2006. Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) du massif de Ouled Yagoub (Khenchela – Aurès). Thèse de doctorat. Institut d'Agronomie. Université de Batna .128 p
- Berg T., Royset O., Steinnes E., 1995. Moss (*Hylocomium splendens*) used as biomonitor of atmospheric trace element deposition: estimation of uptake efficiencies. *Atmospheric Environment* **29**(3): 353-360.
- Bergamaschi L., Rizzio E., Giaveri G., Loppi S., Gallorini M., 2007. Comparison between the accumulation capacity of four lichen species transplanted to a urban site, *Environmental Pollution*, **48**: 468-476.
- Berlizov AN., Blum OB., Filby RH., Malyuk IA., Tryshyn VV., 2007. Testing applicability of black poplar (*Populus nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions, *The Science of the Total Environment*, **372** (2):693-706.
- Blandin P., 1986. Bioindicateur et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin d'Ecologie*, Tome 17(4): 215-307.
- Bliefert C., Perraud R., 2004. Chimie de l'environnement Air, Eau, Sol. Edition de Boeck Université, Bruxelles. 477 p.
- Boudy P., 1955. Economie forestière nord-africaine. Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie, Tome 4, Edition Larose, Paris. 483 p.
- Breulmann G., Markert B., Weckert V., Herpin U., Yoneda R., Ogino K., 2002. Heavy metals in emergent trees and pioneers from tropical forest with special reference to forest fires and local pollution sources in Sarawak, Malaysia, *The Science of the Total Environment*. **285**: 107-115.
- Brown DH., Bates JW., 1990. Bryophytes and nutrient cycling. *Botanical Journal of the Linnean Society*. **104**: 129-147.
- Brumelis G., Brown DH., 1997. Movement of metals to new growing tissue in the moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) BSG. *Annals of Botany*. **79**: 679-686.

- Burnett RT., Smith-Doiron M., Stieb D., Cakmak S., Brook JR., 1999. Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalizations. *Arch Envi Health*. **54** :130-139.
- Catinon M., 2010. Détermination de la pollution atmosphérique métallique : étude critique de l'utilisation des écorces d'arbres. Thèse de Doctorat de l'université de Grenoble 1. 206 p.
- Ceburnis D., Valiulis D., 1999. Investigation of absolute metal uptake efficiency from precipitation in moss. *The Science of the Total Environment*. **226**: 247-253.
- CERTU-CERT., 2010. L'air, la santé et les GES dans les débats publics des projets routiers. CERTU. Fiche numero3. 1-5.
- Chakraborty S., Paratkar GT., 2006. Biomonitoring of Trace Element Air Pollution Using Mosses. *Aerosol and Air Quality Research*. **6** (3): 247-258.
- Christian Aid., 2007. Réchauffement climatique. Publié par l'OBS. Disponible sur : (<https://www.nouvelobs.com/monde/20070513.OBS6971/rechauffement-climatique-un-milliard-de-migrants-en-2050.html>).
- Christoforidis A., Stamatis N., 2009. Heavy Metal Contamination in Street Dust and Roadside Soil along the Major National Road in Kavala's Region Greece. *Geoderma*. **151**: 257-263.
- CITEPA, 2011a. Emissions atmosphériques en France - France Métropolitaine - Substances relatives à la contamination par les polluants organiques persistants. CITEPA / CORALIE SECTEN format. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, Paris, France. Disponible sur : (http://www.citepa.org/emissions/nationale/Pop/Emissions_FRmt_POP.pdf (29/12/2011)).
- CITEPA., 2019. Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France, OMINEA - 16ème édition. 922 p.
- Claiborne JB., Edwards SL., Morrison-Shetlar I., 2002. Acid-base regulation in fishes: cellular and molecular mechanisms. *J. Exp. Zool*. **293**, 302–319.
- COPARLY., 2001. Etude de la qualité de l'air : Influence du trafic autoroutier sur une zone limitrophe Bron (A43) - Saint-Priest (Rocade Est). Comité pour le contrôle de la pollution atmosphérique dans le Rhône et la région Lyonnaise. Disponible sur : <http://www.atmo-rhonealpes.org/coparly>.
- Couto JA., Fernández JA., Aboal JR., Carballeira A., 2004. Active biomonitoring of element uptake with terrestrial mosses: a comparison of bulk and dry deposition. *The Science of the Total Environment* **324**: 211-222.
- Croteau MN., Luoma SN., Stewart AR., 2005. Trophic transfer of metals along freshwater food webs: Evidence of cadmium biomagnification in nature. *Limnol. Oceanogr*. **50**:1511-1519.
- Cuny D., 2012. Introduction à la biosurveillance végétale et fongique de la qualité de l'air, concepts et applications. Journée scientifique bi-académique Académie nationale de Pharmacie et Académie des Technologies « Qualité de l'air : de l'échelle locale à l'échelle planétaire. Compréhension – implications. Disponible sur (https://www.acadpharm.org/dos_public/CUNY_Damien.pdf)
- Cuny D., Davranche L., Kempa M., Vandamme L., Pailleux N., Caous A.S., Dossin M., Silvie J.-P. & Van Haluwyn C. 2003. - Comparison of lichen flora (between 1995

- and 2002) in two cities in the north of France: contribution of nitrogen pollution poster at the Nettlecombe Nitrogen workshop great Britain (24-27 february 2003).
- Cuny, D., Pignata, M. L., Kranner, I. and Beckett, R.: 2002, 'Biomarkers of Pollution-induced Oxidative Stress and Membrane Damage in Lichens', in P. L. Nimis, C. Scheidegger and P. A. Wolseley (eds), *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 97–110.
 - Dambrine E., Augusto L., Bonneau M., 2001. Acidification dans le massif vosgien : comprendre les mécanismes pour apporter des solutions. Institut National de la Recherche Agronomique (Nancy), Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, *Office National des Forêts*. Disponible sur : (https://infodoc-test.agroparistech.fr/index.php?lvl=notice_display&id=92286).
 - DeForest DK., Brix KV., Adams WJ., 2007. Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: The inverse relationship between bioaccumulation factors, trophic transfer factors and exposure concentration. *Aquatic Toxicology*. **84**: 236–246.
 - Deletraz G., 2002. Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne. Incidences des émissions d'oxydes d'azote en vallées d'Aspe et de Biriadou (Pyrénées). Thèse de Doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour. 552 p.
 - Deletraz G., Paul E., 1998. Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes. ADEME. Disponible sur (https://web-new.univ-pau.fr/RECHERCHE/SET/Auteurs/Deletraz/Etat_Art.PDF).
 - Dellaa Y., 2018. Réponses écotoxicologiques aux stress abiotiques induits par une pollution atmosphérique particulaire chez *Pinus halepensis* Mill et *Cupressus sempervirens* L. Thèse de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat ès Sciences. 189p
 - Delmas-Gadras C., 2000. Influence des conditions physico-chimiques sur la mobilité du plomb et du zinc dans un sol et un sédiment en domaine routier. Thèse de docteur de l'université de Pau et des Pays de l'Adour (France). 191 p + Annexes.
 - DPSB., 2013. Direction de Programmation et de Suivi Budgétaire. Infrastructures de transport de la Wilaya de Sidi Bel Abbes.
 - DRIRE-AIRPARIF., IAURIF., 2004. La pollution atmosphérique et les transports franciliens. 120 p.
 - Duong TT., Lee BK., 2011. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal Environmental Management* **92**: 554-562.
 - Elichegaray C., 2008. Pollution de l'air : Source, Effet, Prévention. Edition DUNOD. 280 p.
 - Emberger L., 1939. Aperçu général sur la végétation du Maroc, commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 1/1.500.000. *Veroff Geobot. Rubel Inst. Zurich*, **14** : 40-157.
 - EPH., 2021. Etablissements publique hospitalier de Sidi Bel Abbes. Cas de malade asthmatique admis au niveau de l'EPH Dahmani Slimane.
 - Farjon AK., 1996. Biodiversity of *Pinus* (Pinaceae) in Mexico: Speciation and palaeoendemism. *Bot. J. Linn. Soc. London*. **121**(4) : 365-384.

- Fernandez JA., Ederra A., Nunez E., Martinez-Abaigar J., Infante M., Heras P., Elias MJ., Mazimpaka V., Carballeira A., 2002. Biomonitoring of metal deposition in northern Spain by moss analysis, *The Science of the Total Environment*: **300**: 196 p.
- Foan LM., 2012. Biosurveillance des retombées atmosphériques à l'aide de bryophytes : Suivi des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à diverses échelles spatio-temporelles. Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse. 320 p.
- Fontan J., 2003. Les Pollutions de l'Air les Connaitre pour les Combattre. 2ème Edition., Vuibert, Paris. 211p.
- Ford J., Landers D., Kugler D., Lasorsa B., Crecelius E., Martinson J., 1995. Inorganic Contaminants in Arctic Alaskan Ecosystem: Long Range Atmospheric Transport or Local Point Sources. *The Science of the Total Environment*. **160**: 323-335.
- Fourest E., 1993. Définitions et caractéristiques des métaux lourds. Disponible sur : (<https://www.institut-numerique.org/i2-definitions-et-caracteristiques-des-metaux-lourds-5306014f2e326>).
- Frederick B., 2008. Analyse de la demande et des mesures de promotion françaises du biodiesel à l'horizon 2010 ; thèse doctorale. Economie de l'Environnement et des Ressources Naturelles. 6002 p.
- Gallen V., Flatres S., 2008. La fracture agricole, Sylvie Flatrès et Vincent Gallon, Éditions Delachaux et Niestlé. 272 p.
- Garrec JP., 1996. La pollution des forêts méditerranéennes : exemple de pollution locale par les embruns et de pollution globale par l'ozone. T. XVII, n°2, pp. 81-88.
- Garrec JP., Van Haluwyn C., 2002. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Edition Tec & Doc Paris. 116 p.
- Garty J., 2001. Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: theory and application, *Critical Reviews in Plant Sciences*, **20**(4), p. 309-371.
- Gerdol R., Bragazza L., Marchesini R., 2002. Element concentrations in the forest moss *Hylocomium splendens*: variations associated with altitude, net primary production and soil chemistry. *Environmental Pollution*. **116**:129-135.
- GERMAIN G., 2006. La pollution atmosphérique Observatoire des Nuisances Aériennes. Bureau d'études des nuisances aériennes. Disponible sur (https://media.combs-la-ville.fr/fileadmin/www.combs-la-ville.fr/MEDIA/votre_ville/developpement_durable/ona_la_pollution_atmospherique.pdf).
- Gjengedal E., Steinnes E., 1990. Uptake of metal ions in moss from artificial precipitation. *Environmental Monitoring and Assessment*. **14**: 77-87.
- Gratani L., Crescente M F., Varone L., 2008. Long-Term Monitoring Of Metal Pollution by Urban stresss. *Atmospheric Environment*. **42**(35): 8273-8277.
- Gupta R., Manju RR., Usha M., RK Gupta., 2019. Vegetation and pollution in Delhi-Frequency, Abundance and Density of Plants and PollutantLevels : An Analysis. *Indian Journal Of Public Health Research & Development*. **10** (12):224-228.
- Gydesen H., Pilegaard K., Rasmussen L., Ruhling A., 1983. Moss analysis used as a mean of surveying the atmospheric heavy-metal deposition in Sweden, Denmark and Greenland in 1980. *Bull SNV PM*. **1670**: 1-44.
- Hernandez RA., 2015. Prevention and Control of Air Pollution in China: A Research Agenda for Science and Technology Studies. *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*. (SAPIENS). **8** (1):1-8.

- Herreboudt F., 1999. Compte-rendu de la réunion du C.A. du 18 mars 99, Direction de la communication de Renault, AGM-ITA - *Revue - Numéro 48* .Pollution automobile.
- Hirshon JM., Shardell M., Alles S., Powell JL., Squibb K., Ondov J., Blaisdell CJ., 2008. Elevated ambient air zinc increases pediatric asthma morbidity. *Environmental Health Perspectives*. **116**:826–831.
- Huynh TMD., 2009. Impact des métaux lourds sur les interactions plante/ ver de terre/microflore tellurique. Océan, Atmosphère. Thèse doctorat, Université Paris-Est, 145 + Annexes.
- Institut National de la Cartographie et de le Télédétection. Consultation carte Sidi Bel Abbes. Disponible sur : (https://data.bnf.fr/12003362/15213865/sidi_bel_abbes_sidi_bel_abbes_algerie/).
- Kabata-Pendias A., Pendias, H., 1992. Trace Elements in Soils and Plants. 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton.277 p.
- Kadik B., 1983. Contribution à l'étude du Pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.*) en Algérie : écologie, dendrométrie et morphologie. Thèse de doctorat. 313 p.
- Kadik B., 1987. Contribution à l'étude du pin d'Alep (*pinus halpensis Mill*) en Algérie. Ecologie, dendrométrie, morphologie. Edition O.P.U. 580 p.
- Kadik L., 1984. Phyto-écologie des formations à pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.*) du Senalba Chergui et Gharbi Thèse de Doctorat Sciences. Université H. BOUMÉDIENE. Bab Ezzouar. 281p.
- Krommer V., Zechmeister HG., Roder I., Scharf S., Hanus-Illnar A., 2007. Monitoring atmospheric pollutants in the biosphere reserve Wienerwald by a combined approach of biomonitoring methods and technical measurements. *Chemosphere*. **67**: 1956-1966.
- Krupnick AJ., Harrington W., Ostro B., 1990. Ambient Ozone and Acute Health Effects: Evidence from Daily Data. *J. Environ. Econ. Manage*. **18**: 1-18.
- Kupper H., Lombi E., Zhao FJ., Wieshammer G., McGrath SP., 2001. Cellular compartmentation of nickel in the hyperaccumulators *Alyssum lesbiacum*, *Alyssum bertolonii* and *Thlaspi geosingenese*. *Journal of Experimental Botany*. **52**: 2291-300.
- Kyoto., 1997. Protocole de Kyoto. Disponible sur : (<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche>).
- Lagadic L., Caquet T., Amiard JC., 1997. Biomarqueurs en écotoxicologie - Aspects fondamentaux. Edition. Elsevier Masson.419 p.
- Lagadic L., Caquet T., Amiard JC., Ramade F., 1998. Utilisation de biomarqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement. Edition TEC&DOC., paris. 307 p.
- Le Bouffant L., 1988. Pollution Atmosphérique (par les Aérosols Solides et Liquides). Appareils de prélèvement et mesure. *Techniques de l'Ingénieur*, 4316 p.
- Le Houérou H.N., 1980. The role of browses in the Sahelian and Sudanian zones. In: Browse in Africa, the current state of knowledge. H. N. Edition Le Houérou ILCA, Addis Ababa, Ethiopia. 83-100.
- Leigneil J. ,2007. Etude de l'émergence de véhicules propres dans le domaine des grands routiers par l'utilisation du GNV. *Collection Logistique et transports de marchandises*. 94 p.
- Letreuch-Belarouci N., 1991. Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir. **1-2**. OPU, Alger. 641 p.

- Lin B., Wielicki BA., Chambers LH., Hu Y., Xu KM., 2002: The iris hypothesis: A negative or positive cloud feedback. *J. Climate*. **15**: 3–7.
- Loppi S., Giomarelli B., Bargagli R., 1999. Lichens and mosses as biomonitors of trace elements in a geothermal area (Mt. Amiata, central Italy). *Cryptogamie, Mycol*, **20** (2): 119-126.
- Loué A., 1993. Oligo elements en agriculture. Editions Nathan. 577 p.
- Maatoug M., Hellal B., Dellal A., Ayad N., Bourbatach M., 2007. Détection de la pollution de l'air d'origine routière par certaines espèces végétales bioaccumulatrices de quelques métaux lourds (Pb, Zn, Cu). *Pollution atmosphérique*. N°196 : 385-394.
- Maatoug M., Medkour K., Ait Hammou M., Ayad N., 2010. Cartographie de la pollution atmosphérique par le plomb d'origine routière à l'aide de la transplantation d'un lichen bioaccumulateur *xanthoria pariatina* dans la ville de Tiaret (Algérie). *Pollution atmosphérique*. N°205 : 93-101.
- Maherou J., Norest S., Ferrer L., 2013. Les métaux lourds, quels risques pour la santé. ASEF «Association Santé Environnement France ».
- Maillard P., Petit N., Martinez J., 2020. Prospective des évolutions réglementaires relatives aux déjections animales en Bretagne. Disponible sur (<https://hal.inrae.fr/hal-02580467>).
- Maizi N., Alioua A., Ali Tahar A., Semadi F., Fadel D., 2010. Utilisation des végétaux inférieurs comme bio indicateurs de la pollution plombique d'origine automobile dans la région de Annaba (Algérie). *J. Mater. Environ. Sci.* **1** (4):251-266
- Mäkinen A., 1994. Biomonitoring of Atmospheric Deposition in the Kola Peninsula (Russia) and Finnish Lapland Based on the Chemical Analysis of Mosses. *Ministry of the Environment Rapport 4*: 1-83.
- Malbreil N., 1997. La pollution en bordure d'autoroute et son impact sur la végétation. DESS Ressources Naturelles et Environnement., Université de Metz., CETE de l'Est.56 p.
- Marcheoin A., Orfeuill J.P. (1998), Transport, énergie, environnement. Modes de vie et comportements, Transports, n° 390, juillet-août. Mission Interministérielle Sur L'effet De Serre (1999), Memento des décideurs, urbanisme et déplacements, juin.
- Markert BA., Breure AM., Zeichmeister HG., 2003. Bioindicators & biomonitors principles, concepts, and applications. Edition *Elsevier*. Amsterdam. 997p.
- Martin CE., Churchill SP., 1982. Chlorophyll concentrations and a/b ratios in mosses collected from exposed and shaded habitats in Kansas. *Journal of Bryology*. **12**: 297-304.
- Masclet P., 2005. Pollution Atmosphérique : Causes, Conséquences, Solutions, Perspectives. Edition ELIPSES, 213p.
- Mazoue S., Gaber J., 1994. Impact du trafic routier sur l'environnement : la contamination du sol par voie aérienne. Rapport Setra - Cstr N° B 9411, DESS Pollution chimiques et environnement. 67 p.
- Menkes D B., Fawcett J P., 1997. Too easily lead? Health effects of gasoline additives. *Environ Health Perspect.* **105**: 270-273.
- Miquel G., 2001. Rapport sur les Effets des Métaux Lourds sur l'Environnement et la Santé. Assemblée Nationale Française, N°2979, Paris. 366 p.

- Monnet-Tschudi F., Zurich M G., Boschat C., Corbaz A., Honegger P., 2006. Involvement of environmental mercury and lead in the etiology of neurodegenerative diseases; *Rev Environ Health*. **21**(2):105-17.
- Musilova J, Arvay J, Vollmannova A, Toth T, Tomas J., 2016. Environmental contamination by heavy metals in region with previous mining activity. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. **97**:569-575.
- NAFTAL., 2020., Société nationale de Commercialisation et de Distribution de Produits Pétroliers. Capacité de stockage et de distribution de carburant dans la Wilaya de Sidi Bel Abbes. Disponible sur : (<https://www.naftal.dz/fr/>).
- Nafti S., 2013. En raison de la pollution : Huit millions d'Algériens souffrent d'affections respiratoires. XXIIes Journées Nationales de Pneumophtisiologie Hôtel Hilton, Alger.
- Nahal I., 1962. Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Ann. de l'Ecole Nat. des Eaux et Forêts de Nancy T.XIX (4) : 208 p.
- Ngo C et Régent A., 2012 Déchets, effluents et pollution - Impact sur l'environnement et la santé. 3ème édition. DUNOD. Univers Sciences. 216 p.
- Økland T., Økland RH., Steinnes E., 1999. Element concentrations in the boreal forest moss *Hylocomium splendens*: variation related to gradients in vegetation and local environmental factors. *Plant and Soil*. **209**: 71-83.
- OMS., 2018., Organisation Mondiale de la Santé. Qualité de l'air ambiant (extérieur) et santé. Disponible sur ([https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health#:~:text=L'OMS%20estime%20qu'environ,que%20les%206%25%20restants%20sont](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health#:~:text=L'OMS%20estime%20qu'environ,que%20les%206%25%20restants%20sont)).
- Onianwa PC., 2001. Monitoring atmospheric metal pollution: A review of the use of mosses as indicators. *Environmental Monitoring and Assessment*. **71**(1): 13-50.
- ONS., 2018. Office National des Statistique. Généralité sur le parc automobile de la Wilaya de Sidi Bel Abbes. Disponible sur (<https://www.ons.dz/>)
- ONS., 2019. Office National des Statistique. Généralité sur le parc automobile de l'Algérie et de la Wilaya de Sidi Bel Abbes. Disponible sur (<https://www.ons.dz/>)
- ONS., 2020. Office National des Statistique. Etat générale du secteur transport routier en Algérie. Disponible sur (<https://www.ons.dz/>)
- Ozenda P., 1982. Les végétaux dans la biosphère. Edition Doin. Paris. 431p.
- Pagotto C., 1999. Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et hydrocarbures en domaine routier. Thèse de doctorat : chimie et microbiologie de l'eau : sciences et techniques. Université de Poitier. 252 p.
- Pagotto C., Remy N., Legret M., Cloirec P., 2001. Heavy metal pollution of road dust and roadside soil near a major rural highway. *Environ. Technol.* **22**: 307-319.
- Palmieri RM., La Pera L., Di Bella G., Dugo G., 2005. Simultaneous determination of Cd (II), Cu(II), Pb(II) and Zn(II) by derivative stripping chronopotentiometry in *Pittosporum tobira* leaves: a measurement of local atmospheric pollution in Messina (Sicily, Italy), *Chemosphere*. **59** (8):1161-1168.
- Peden D B., 2002. Pollutants and asthma: role of air toxics. *Environ Health Perspect.* **110** (Suppl 4): 565–568.

- Pesch R., Schröder W., 2006. Integrative exposure assessment through classification and regression trees on bioaccumulation of metals, related sampling site characteristics and regions. *Ecological informatics*. **1**: 55-65.
- Pierre M., 2000. Pollution Atmosphérique : Causes, Conséquences et Solutions. Edition Ellipses, Paris. 213 p.
- Pignata ML., Gudino GL., Wannaz ED., Pla RR., Gonzalez CM., Carreras HA., Orellana L., 2002. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing Tillandsiacapillaris as a biomonitor. *Environmental Pollution*. **120** : 59-68.
- Popescu M., Blanchar DJ., Carre M., 1998. Analyses et traitement physicochimique des rejets atmosphériques industriels, émissions, fumées, odeurs et poussières, Editeur Tec & Doc, 850 p.
- PRQA., 2007. (Plan Régional de la Qualité de l'Air) la région de REUNION. S'assurer de la représentativité des mesures de la Qualité de l'Air sur le plan spatial et temporel. 80-81.
- Quezel P., Pamuckcuoglu A., 1973. Contribution à l'étude phytosociologique et bioclimatique de quelques groupements forestiers du Taurus. *Feddes Repertorium Berlin*. **84**(3) : 185-229.
- Quoc Bang Ho., 2010. Optimal Methodology to Generate Road Traffic Emissions for Air Quality Modeling: Application to Ho Chi Minh City. Thèse de Doctorat. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne .Suisse. 185 p.
- Rahal F., 2005. Gestion de la pollution atmosphérique à Oran. Le système ORANAIR, mémoire de Magistère Oran. 165 p.
- Rahal F., 2015. Modélisation et simulation de la pollution atmosphérique. Le cas de la région d'Alger. Thèse de doctorat en sciences Spécialité Chimie. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. 151p.
- Rahal F., Benharat N., Rahal DD., Baba Hamed FZ., 2009. Influence du trafic routier sur la pollution atmosphérique dans la ville d'Oran. Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents. Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév. Actes, ENP ed., Alger. 153-156.
- Ramade F., 1995. Précis d'Écotoxicologie, Edition : Masson, Paris, 300 p.
- Ramade F., 2003. Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale : Edition Dunod, Paris. 690 p.
- Rao DN., 1982. Response of Bryophytes to Air Pollution. In AJE Smith, Ed. Bryophyte ecology. Chapman and Hall, London and New York: 445-471.
- Rhue RD., Mansell RS., Tang SR., Ouyang Y., 1992. The fate and behavior of lead alkyls in the environment: a review. *Crit Rev Environ Control*. **22**: 169-193 p.
- Ross HB., 1990. On the Use of the Mosses *Hylocomium Splendens* and *Pleurozium schreberi* for Estimating Atmospheric Trace Metal Deposition. *Water, Air and Soil Poll.* **50**: 63-76.
- Rossini Oliva S., Mingorance M D., 2006. Assessment of airborne heavy metal pollution by aboveground plant parts, *Chemosphere*. **65**: 177-182.
- Rühling A., Tyler G., 1970. Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. Et Sch. *Oikos* **21**: 92-97.
- Rupa P., Venkatachalam T., 2018. Studies on Air Pollution Tolerance Index of Native Plants Species to Enhance Greenery in Industrial Area. *Indian Journal of Ecology* **45**(1):1-5.

- Rzepka MA., Cuny D., 2008. Biosurveillance végétale et fongique des ETM atmosphériques. *Air Pur* N° 75 - Deuxième semestre : 66-78.
- Salines G., Boudet C., 2011. Biosurveillance, écosurveillance. *Environnement Risque Santé* **10**: 417-8.
- Sbagoud A., Brahimi A., 2011. Diagnostic environnemental de la gare routière de Tizi-Ouzou : Détection de la pollution métallique d'origine Automobile. Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou: 80p + Annexes.
- Scal-Air. Actualités., 2010. L'information sur la qualité de l'air. N° 7 juillet – décembre. Disponible sur (<https://www.scalair.nc/images/phocadownload2/scal-air-info/scal-air-info-7.pdf>).
- Seigue A., 1985. La forêt circum-méditerranéenne et ses problèmes. Maison neuve et Edition Larose. Paris. 502 p.
- Semadi A., Deruelle S., 1993. Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région de Annaba (Algérie). *Pollution Atmosphérique* : 86-101.
- SENAT 2021. Les nuisances environnementales de l'automobile. Disponible sur (<https://www.senat.fr/rap/r01-113/r01-1132.html>).
- Shaheen D., 1975. Contribution of urban roadway usage to water pollution. EPA-600/2-75- 004, U.S. Environmental protection agency, Washington, D.C.
- Sinclair AH., Tolsma D., 2004. Associations and Lags between Air Pollution and Acute Respiratory Visits in an Ambulatory Care Setting: 25-Month Results from the Aerosol Research and Inhalation Epidemiological Study. *Journal of the Air & Waste Management Association*. **54**: 1212-1218.
- Soltani A., 2016. Typologie et Fertilité des stations de pin d'Alep de la forêt de Benjloud (Saida), mémoire de master en foresterie, Université de Tlemcen. 141 p.
- Steinnes E., 1993. In Some Aspects of Biomonitoring of Air Pollutants Using Mosses as Illustrated by the 1976 Norwegian Survey. Markert B(ed), VHC, Weinheim: 381-394.
- Stieb DM., Beveridge RC., Brook JR., Smith-Doiron M., Burnett RT., Dales RE., Beaulieu S., Mamedov A., 2000. Air pollution, aeroallergens and cardiorespiratory emergency department visits in Saint John, Canada. *J Exposure Anal Env Epidemiol*. **10**: 461–477p.
- Sucharova J., Suchara I., 1998. Atmospheric deposition levels of chosen elements in the Czech Republic determined in the framework of the International Bryomonitoring Program 1995, *The Science of the Total Environment*. **223**: 37-52.
- Sulaiman FR., Hamzah HA., 2018. Heavy metals accumulation in suburban roadside plants of a tropical area (Jengka, Malaysia). *Ecological Processes*. 7 :28 <https://doi.org/10.1186/s13717-018-0139-3>.
- Sylvain T., 2005. Construction et validation de modèles cinétiques détaillés pour la combustion de mélanges modèles des essences ; thèse doctorale, Université de Nancy. 227p + Annexes.
- Tabeaud T., 2000. La pollution par l'ozone (O3) et le dioxyde d'azote (NO2) en Île-de-France : un état des connaissances. Disponible sur : (https://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-a12/docs/pdf/experts/martine_tabeaud.pdf).
- Tamm CO., 1953. *Medd. fran Stateus Skogforskning Institut*. **43** : 1–140.

- Thöni L., Schnyder N., Krieg F., 1996. Comparison of metal concentrations in three species of mosses and metal freights in bulk precipitations. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry* **354**: 703-708.
- Tomasevic M., Vukmirovic Z., Rajsic S., Tasic M., Stevanovic B., 2005. Characterisation of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area, *Chemosphere*. **61**: 753-760.
- Tremel-Schaub A., Feix I., 2005. Contamination des Sols : Transferts des Sols vers les Plantes. Edition EDP sciences .collection ADEME.414 p.
- Tsai Y I., Cheng M T., 1999. 'Visibility and aerosol chemical compositions near the coastal area in central Taiwan', *Sci. Tot. Environ.* **231**: 37-51.
- Tyler G., 1990. Bryophytes and heavy metals: a litterature review. *Botanical Journal of the Linnean Society*. **104**: 231-253
- Viala., 1998. Eléments de toxicologie. Edition Tech et Lavoisier, Paris : 1-152.
- Wegener JWM., Van Schaik MJM., Aiking H., 1992. Active biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons by means of mosses. *Environmental Pollution* **76** (1): 15-18.
- Witting R., 1993. General aspects of Biomonitoring heavy metals by plants, plants as biomonitors / indicator for heavy metals in the terrestrial environment. Market B, VCH Publisher, Weinheim: 3- 28.
- Zechmeister HG., 1995. Correlation between altitude and heavy metal deposition in Alps. *Environmental Pollution* **89**: 73-80.
- Zechmeister HG., Grodzinska K., Szarek-Lukaszewska G., 2003a. Bryophytes. Bioindicators and biomonitors. Amsterdam, Elsevier: 329-375. *Journal of Atmospheric Chemistry* **49** (1): 461-477.
- Zechmeister HG., Hohenwallner D., Riss A., Hanus-Illnar A., 2003b. Variations in heavy metal concentrations in the moss species *Abietinella abietina* (Hedw.) Fleisch. According to sampling time, within site variability and increase in biomass, *The Science of the Total Environment*. **301** : 55–65.
- Zereini F., Alsenz H., Wiseman CLS., Püttmann W., Reimer E., Schleyer R., Bieber E., Wallasch M., 2012a. Platinum group elements (Pt, Pd, Rh) in airborne particulate matter in rural versus urban areas of Germany: concentrations and spatial patterns of distribution. *The Science of the Total Environment*. **416**: 261–268.
- Zereini F., Wiseman CLS., Püttmann W., 2012b. In vitro investigations of platinum, palladium, and rhodium mobility in urban airborne particulate matter (PM10, PM2.5, and PM1) using simulated lung fluids. *Environ Sci Technol* **46**(18): 10326–10333.
- Zinzindohoué P., 1997. La Pollution de l'air en Afrique. La Pollution automobile. Éditions CIAE Solidarité – Développement. 26p.

Reference Web:

- Mousse bio-accumulatrice de pollution atmosphérique. Adresse URL : <https://www.humidite.be/blog-traitement-protection-batiment/item/20-comment-se-d%C3%A9veloppe-la-mousse-sur-une-toiture.html>

- Types de Thalle. Adresse URL : <https://www.visoflora.com/photos-nature/photo-punctelia-borreri-1.html>
- DZ météo. Données météorologique. Adresse URL : <https://www.dzmeteo.com/meteo-sidi-bel-abbes.dz>
- Onm-blog.meteo.dz. Données météorologique. Adresse URL : https://onm-blog.meteo.dz/?page_id=226#
- Structure de l'atmosphère terrestre. Adresse URL : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Couches_de_l%27atmosphere.png
- Air de projection du Pin d'Alep sur la Climagramme d'Emberger. Adresse URL : http://bibfac.univ-tlemcen.dz/snvstu/opac_css/doc_num.php?explnum_id=2209
- Principe d'un spectrophotomètre d'absorption atomique de flamme. Adresse URL : <https://fmedecine.univ-setif.dz/ProgrammeCours/La%20spectroscopie%20atomique%20Cours%20de%20Chimie%20analytique%203eme%20ann%C3%A9e%20pharmacie%20Dr%20ADOUANI.pdf>

RESUME

Le présent travail consiste à montrer l'intérêt de l'utilisation d'une espèce végétale bio-accumulatrice du pin d'Alep pour observer la contamination aérienne en métaux lourds et voir les relations qui pourraient exister avec certaines sources liées au trafic routier. Les analyses des métaux lourds des aiguilles et de la litière de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) ont permis de mettre en évidence des concentrations de sept métaux lourds « Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb et Zn » au niveau de deux sites d'études (un site urbain « Le Bosquet », et un site rural situé dans une station-service à Telagh). Chacun d'eux étant divisé en trois zones d'échantillonnage et ce dans la wilaya de Sidi-Bel-Abbès en Algérie.

Les résultats obtenus montrent que le site urbain est moins pollué que le site rural. Ainsi que les zones exposées aux trafics routiers dans chacun des deux sites ont un degré de contamination plus élevées en métaux lourds que les autres zones d'échantillonnages. On constate également que la litière de pin accumule d'avantage les métaux lourds que les aiguilles de pin.

Les concentrations élevées en métaux lourds enregistrées dans les deux sites de prélèvement, montrent que le trafic et les infrastructures routières constituent une source importante de métaux lourds toxiques pour l'environnement. Le plomb, le fer et le zinc, principaux polluants métalliques qui sont issus des gaz d'échappement, de l'usure des garnitures de freins, des pneumatiques et de la corrosion des glissières de sécurité sont présents en fortes concentrations dans les deux sites d'étude.

Mots-clés : Pin d'Alep, bioaccumulation, trafic-routier, pollution atmosphérique, milieu urbain, Sidi-Bel-Abbès, milieu rural, station-service « Telagh ».

ABSTRACT

The present work consists in showing the interest of using a bio-accumulating plant species of Aleppo pine to observe the aerial contamination of heavy metals and to see the relations that could exist with certain sources related to road traffic. Analyses of heavy metals in the needles and litter of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) revealed seven heavy metals "Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn" at two study sites (an urban site "Bosquet forest" and a rural site located in a "Telagh" service station). Each of them is divided into three sampling areas in the Sidi-Bel-Abbès in Algeria.

The results obtained show that the urban site is less polluted than the rural site. The areas exposed to road traffic in each of the two sites have a higher degree of heavy metal contamination than the other sampling areas. It was also found that pine litter accumulates more heavy metals than pine needles.

The high concentrations of heavy metals recorded at the two sampling sites show that traffic and road infrastructure are a major source of heavy metals that are toxic to the environment. Lead, iron and zinc, the main metallic pollutants that come from exhaust fumes, wear of brake linings, tires and corrosion of guardrails, are present in high concentrations in both study sites.

Keywords: Aleppo pine, bioaccumulation, road traffic, air pollution, urban environment, Sidi-Bel-Abbès, rural environment, "Telagh" service station.

الملخص

يتمثل العمل الحالي في إظهار الاهتمام باستخدام أنواع نباتية متراكمة بيولوجياً من أشجار الصنوبر الحلبي لمراقبة التلوث الجوي للمعادن الثقيلة ومعرفة العلاقات التي يمكن أن توجد مع بعض المصادر المرتبطة بحركة المرور على الطرق. كشفت تحليلات المعادن الثقيلة من إبر وفضلات الصنوبر الحلبي (*Pinus halepensis*) عن تركيزات سبعة معادن ثقيلة "الكاديوم والكروم والنحاس والحديد والنيكل والرصاص والزنك" على مستوى موقعين للدراسة (موقع حضري في غابة «Le Bosquet»، وموقع ريفي يقع في محطة خدمة بتلاغ). تنقسم كل منطقة إلى ثلاث مناطق لأخذ العينات في ولاية سيدي بلعباس في الجزائر.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الموقع الحضري أقل تلوثاً من الموقع الريفي. بالإضافة إلى المناطق المعرضة لحركة المرور على الطرق في كل موقع من الموقعين لديها مستوى أعلى من التلوث بالمعادن الثقيلة من مناطق أخذ العينات الأخرى. كما وجد أن فضلات الصنوبر تتراكم فيها معادن ثقيلة أكثر من إبر الصنوبر.

تظهر التركيزات العالية للمعادن الثقيلة المسجلة في موقعي أخذ العينات أن البنية التحتية للطرق وحركة المرور تشكل مصدرًا مهمًا للمعادن الثقيلة السامة للبيئة. الرصاص والحديد والزنك، الملوثات المعدنية الرئيسية التي تأتي من غازات العادم، تآكل بطانات الفرامل، الإطارات وتآكل الدرابزين، موجودة بتركيزات عالية في موقعي الدراسة.

الكلمات المفتاحية: صنوبر حلب، التراكم الحيوي، حركة المرور، تلوث الهواء، البيئة الحضرية، سيدي بلعباس، البيئة الريفية، محطة خدمة "تلاغ".