

N° d'ordre.....

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département des Sciences de l'Environnement

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par :

Mme BELHADJ Hanane EP MOUDJAH BENBRAHIM

Spécialité : Sciences de l'Environnement

Option : Pathologie des Ecosystèmes Terrestres

Intitulée

***Détection de la pollution atmosphérique à l'aide du lichen
Xanthoria parietina (L.) bio-accumulateur d'éléments traces
métalliques dans le centre urbain de la ville de Sidi Bel
Abbes (Algérie occidentale).***

Soutenue le

Devant l'honorable jury composé de :

Présidente de jury : Dr MAHROUG Samira..... (M.C. A, UDL/SBA)

Examinatrices : Dr BOUCHENAFI Nadia..... (M.C.A, Univ. Tiaret)

Dr DJERBAOUI Malika..... (M.C. A, Univ. Tiaret)

Dr REGAGBA Zineb..... (M.C. A, Univ. Tiaret)

Directeur de thèse : Pr HELLAL Benchaben..... (Professeur,UDL/SBA)

Co-directeur de thèse : Pr MAHTOUG M'Hamed..... (Professeur,Univ/Tiaret)

Année universitaire 2014 – 2015

Remerciements

En préambule à ce Doctorat, je souhaiterais adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de cette thèse.

Je tiens à remercier sincèrement Professeur HELLAL Benchaben, qui en tant que Directeur de thèse, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce travail,

Mes remerciements s'adressent également aux membres de jury :

Je remercie Dr MAHROUG Samira, Maitre de conférence à l'Université de Sidi Bel Abbés d'avoir accepté de présider le jury ;

Mes vifs remerciements vont également aux : Dr BOUCHENAFI Nadia, Maitre de conférence à l'université de Tiaret, Dr DJERBAOUI Malika, Maitre de conférence à l'université de Tiaret et Dr REGAGBA Zineb, pour avoir accepté d'examiner mon travail et de participer à ce jury.

J'exprime ma gratitude à tous les consultants et internautes rencontrés lors des recherches effectuées et qui ont accepté de répondre à mes questions avec gentillesse.

Je remercie du fond du cœur ma famille, en particulier mes parents de m'avoir toujours soutenu et épaulé pendant toute la durée de mes études.

Je n'oublie pas mon mari pour son grand soutien et sa patience.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de cette thèse.

Merci à tous.

Résumé

La quantification de l'émission du plomb et du Zinc dans le milieu urbain de Sidi Bel' Abbés (Algérie occidentale), est effectuée par l'utilisation des thalles de *Xanthoria parietina* (L.). L'exposition de trente huit (38) thalles du lichen, pour une durée de 30 jours, a permis de mesurer les concentrations du plomb et du Zinc atmosphériques en deux saison (été et hiver) émis par le trafic routier. La saison d'Eté s'est distinguée par de fortes concentrations de l'ordre de $(10.66 \pm 2.08 \text{ ppm})$ pour le plomb et de $(0.051 \pm 0.011 \text{ ppm})$ pour le Zinc. La saison d'Hiver s'est par contre caractérisée par de faibles valeurs de l'ordre de $(1.30 \pm 0.10 \text{ ppm})$ pour l'émission du Plomb et de $(0.47 \pm 0.003 \text{ ppm})$ pour le Zinc. Les différences observées, dans les concentrations de plomb et de Zinc atmosphériques inter et intra saisons, sont dues essentiellement aux conditions climatiques, l'inégale répartition du trafic routier et la présence de fortes pentes dans certains quartiers. Les saisons pluvieuses et ventées ont tendance à atténuer la pollution de l'air tandis que le trafic routier dense et les fortes pentes ne font qu'augmenter les concentrations de plomb et de Zinc émis par les véhicules. Les fortes concentrations en Plomb et en Zinc sont également observées dans le voisinage des grands axes de circulation.

Mots clés : Pollution de l'air, Plomb, Zinc, trafic routier, *Xanthoria parietina* (L.).

Summary

The quantification of lead and zinc emissions in the urban environment of Sidi Bel Abbas (Western Algeria) is carried out through the use of fronds *Xanthoria parietina* (L.). The exhibition of thirty eight (38) of the lichen thallus for a period of 30 days, was used to measure the concentrations of airborne lead and zinc into two season (summer and winter) emitted by road traffic. Summer season was characterized by high concentrations of the order of $(10.66 \pm 2.08 \text{ ppm})$ for lead and $(0.051 \pm 0.011 \text{ ppm})$ for Zinc. Winter is the season against is characterized by low values in the range of $(1.30 \pm 0.10 \text{ ppm})$ for emission of lead and $(0.47 \pm 0.003 \text{ ppm})$ for Zinc. The differences in the concentrations of airborne lead and zinc are between and within seasons, are mainly due to climatic conditions, the unequal distribution of traffic and the presence of steep slopes in some neighborhoods. The rainy and windy seasons tend to reduce air pollution while the dense traffic and steep slopes only increase lead and zinc levels emitted by vehicles. High concentrations of Lead and Zinc are also observed in the vicinity of major roads.

Key words: Air pollution, Lead, Zinc, road traffic, *Xanthoria parietina*(L.).

ملخص

يتم تقدير حجم إنبعاث الرصاص والزنك في البيئة الحضرية لمدينة سيدي بلعباس (الجزائر الغربية) من خلال استخدام أشنة (*Xanthoria parietina* (L.)). إن تعريض ثمانية وثلاثين (38) من الكتلة الحية من الأشنة لمدة 30 يوما، قد سمح بقياس تركيزات الرصاص والزنك الموجودة في الهواء، وذلك لموسمين (الصيف والشتاء)، المنبعثة من حركة المرور على الطرق. إتسم موسم الصيف بتركيزات عالية من الرصاص في حدود (2.08 ± 10.66) جزء في المليون) و (0.011 ± 0.051) جزء في المليون) بالنسبة للزنك. أما بالنسبة لموسم الشتاء، فلقد إتسم بتركيزات منخفضة، بالنسبة للرصاص، كانت في حدود (0.10 ± 1.30) جزء في المليون) و (0.003 ± 0.47) جزء في المليون) للزنك.

الاختلافات في تركيزات الرصاص والزنك الهوائية بين وداخل الفصول، يرجع أساسا إلى الظروف المناخية، التوزيع الغير المتزن لحركة المرور، و وجود منحدرات شديدة في بعض الأحياء.

إن مواسم الأمطار والرياح تميل إلى الحد من تلوث الهواء، في حين أن كثافة حركة المرور و شدة المنحدرات تزيد من مستوى تركيزات الرصاص والزنك المنبعثة من المركبات، كما أنه قد تم ملاحظة تركيزات عالية من الرصاص والزنك على مستوى محيط الطرق الرئيسية.

الكلمات المفتاحية:

تلوث الهواء، الرصاص، الزنك، حركة المرور، *Xanthoria parietina*(L.).

Liste des Abréviations

ACP	<i>Analyse en Composantes Principales.</i>
AFC	<i>Analyse Factorielle des Correspondances.</i>
APPA	<i>Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique.</i>
As	<i>Arsenic.</i>
Bap	<i>Benzo(a)pyrène.</i>
C.A.H	<i>Classification Ascendante Hiérarchique.</i>
C2H2	<i>Acétylène</i>
C6H6	<i>Benzene.</i>
Ca	<i>Calcium.</i>
Cd	<i>Cadmium.</i>
CFC	<i>ChloroFluoroCarbones.</i>
CH4	<i>Méthane.</i>
ClHO4	<i>Acide Perchlorique.</i>
CO	<i>Monoxyde De Carbone.</i>
CO2	<i>Dioxyde de Carbone.</i>
COV	<i>Composés Organiques Volatiles.</i>
COVNM	<i>Composés Organiques Volatiles Non Méthanique.</i>
Cr	<i>Chrome.</i>
Cu(OH)₂	<i>Hydroxyde de Cuivre.</i>
Cu	<i>Cuivre.</i>
Cu₂O	<i>Oxyde Cuivreux.</i>
CuCl₂	<i>Chlorure de Cuivre.</i>
CuSo4	<i>Sulfate de Cuivre.</i>
déc	<i>décembre.</i>
E	<i>Eté.</i>
Etc	<i>Etcetera.</i>
ETM	<i>Elément Traces Métallique.</i>
F1	<i>Facteur 1.</i>
F2	<i>Facteur 2.</i>
Fe	<i>Fer.</i>
fév	<i>février.</i>
F_{obs}	<i>test de Fischer (observé).</i>
F_{th}	<i>test de Fischer (théorique).</i>
g /l	<i>gramme par litre.</i>
g	<i>gramme.</i>
g.km-1	<i>gramme par kilomètre par heure.</i>
g/an	<i>gramme par an.</i>
GNV	<i>Gaz Naturel pour Véhicule.</i>
GPL	<i>Gaz du pétrole liquéfié.</i>
GPS	<i>Global Positioning System.</i>
H	<i>Hiver.</i>
H₂SO₄	<i>Acide Sulfurique.</i>
ha	<i>hectare.</i>
HAP	<i>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.</i>

HC	<i>Hydrocarbures.</i>
HCB	<i>HexaChloroBenzène.</i>
Hg	<i>Mercure.</i>
HNO₃	<i>Acide Nitrique.</i>
IGQA	<i>Indice Global de la Qualité de l'Air.</i>
Jan	<i>janvier.</i>
juillet	<i>juillet.</i>
Km	<i>kilomètre.</i>
km²	<i>kilomètre carré.</i>
L	<i>Largeur.</i>
L	<i>Litre.</i>
µg	<i>microgramme.</i>
µg/l	<i>microgramme par litre.</i>
µm	<i>micromètre.</i>
m	<i>mètre.</i>
m³	<i>mètre cube.</i>
mg/l	<i>milligramme par litre.</i>
Mg.	<i>Magnésium</i>
mg	<i>milligramme.</i>
ml	<i>millilitre.</i>
mm	<i>millimètre.</i>
moy	<i>moyenne.</i>
N	<i>L'Azote.</i>
n°	<i>numéro.</i>
N₂O	<i>Protoxyde d'Azote.</i>
N₂O₃	<i>Trioxyde d'Azote.</i>
N₂O₅	<i>Pentoxyde d'Azote.</i>
Ng	<i>Nano gramme.</i>
Ni	<i>Nickel.</i>
NO₂	<i>Dioxyde D'Azote.</i>
nov	<i>novembre.</i>
NO_x	<i>Oxydes d'Azote.</i>
O	<i>l'oxygène.</i>
O₂	<i>Dioxygène.</i>
O₃	<i>L'Ozone.</i>
Oct	<i>octobre.</i>
ONS	<i>Office National des Statistiques.</i>
Pb	<i>Plomb.</i>
PbCo₃, PbCl₂,PbCl₊	<i>les formes de Plomb dissous (les carbonates du plomb).</i>
PH	<i>Potentiel Hydrogène.</i>
PL	<i>Poids Lourds.</i>
PL	<i>Poids Lourds.</i>
PM₁₀	<i>Particule Minérale à 10 µm.</i>
POP	<i>Produits Organiques Persistants.</i>
ppm	<i>partie par million.</i>
SAU	<i>Surface Agricole Utilisée.</i>
Sep	<i>septembre.</i>

SO₂	<i>Dioxyde De Soufre.</i>
S	<i>Sites.</i>
T	<i>Témoins.</i>
T°	<i>Température</i>
TSP	<i>particules en suspension.</i>
URBAT	<i>Centre d'Etude et de Réalisation en Urbanisme.</i>
Uv	<i>Ultra-violet.</i>
VL	<i>Véhicule Léger.</i>
VU	<i>Véhicule Utilitaire.</i>
Zn(H₂O)_{2+n}	<i>Zinc complexe.</i>
Zn.	<i>Zinc</i>
°C	<i>Degré Celsius.</i>
2R	<i>Deux Roues.</i>
<	<i>Inferieur.</i>
>	<i>Supérieur.</i>
%	<i>Pourcentage.</i>
•	<i>Degré.</i>

Liste des Figures

Figure n°1	<i>Paramètres qui conditionnent la qualité de l'air (Source : Ponche, 2003).</i>
Figure n°2	<i>Circulation des polluants atmosphériques (Source : APPA, 2003).</i>
Figure n°3	<i>Emissions, transformation et dépôts de polluants (Source : CITEPA, 2001).</i>
Figure n°4	<i>Schéma simplifié des processus Multiphasiques intervenant au sein d'une Goutte d'eau nuageuse (Source :Desboeufs, 2001).</i>
Figure n°5	<i>Répartition graphique des substances polluantes (causes et effets) (Source : Lacour, 2001).</i>
Figure n°6	<i>Emissions des polluants dues au trafic routier.</i>
Figure n°7	<i>Schéma des particules diesel (Source : Institutes (HEI), SFSPE, 1996).</i>
Figure n°8	<i>Coupe transversale d'une feuille montrant les différentes voies d'entrées des polluants dans les feuilles (Source : Arvik et Zimdahl, 1974).</i>
Figure n°9	<i>Stomate, vue en microscopie électronique à balayage (Source : Cuny, 1990).</i>
Figure n°10	<i>Organisation d'un lichen (vue en coupe).</i>
Figure n°11	<i>Différents types de lichens (Source : Lavalard, 2005).</i>
Figure n°12	<i>Localisation de la ville de Sidi Bel Abbés.</i>
Figure n°13	<i>Structure de la ville de Sidi Bel Abbés (Source : Google Map, 2014).</i>
Figure n°14	<i>Répartition de la population de la ville de Sidi Bel Abbés par sexe et par âge (Source : ONS, 2008).</i>
Figure n°15	<i>Carte du réseau routier de la ville de Sidi Bel Abbés.</i>
Figure n°16	<i>Répartition du parc automobile de la wilaya de Sidi Bel Abbés selon le genre du véhicule (Source : ONS, 2014).</i>
Figure n°17	<i>Quantités distribuées par type de carburant en m³ (Source : NAFTAL, 2014).</i>
Figure n°18	<i>La distribution par type de carburant en m³ (Source : NAFTAL, 2014).</i>
Figure n°19	<i>vue d'ensemble du lichen Xanthoria parietina (L.).</i>
Figure n°20	<i>Emplacement des transplantations lichéniques dans la ville de Sidi Bel Abbés.</i>
Figure n°21	<i>Protocole analytique pour le traitement et le dosage des échantillons (Source : Atmo Picardie, 2004).</i>
Figure n°22	<i>Histogramme des concentrations moyennes en Plomb mesurées durant la saison d'hiver.</i>
Figure n°23	<i>Histogramme des concentrations moyennes en Plomb mesurées durant la saison d'Eté.</i>
Figure n°24	<i>Histogramme des concentrations moyennes de Plomb mesurées durant les saisons d'Hiver et d'Eté.</i>
Figure n°25	<i>Histogramme des concentrations moyennes en Zinc mesurées durant la saison d'hiver.</i>
Figure n°26	<i>Histogramme des concentrations moyennes en Zinc mesurées durant la saison d'Eté.</i>
Figure n°27	<i>Histogramme des concentrations moyennes de Zinc mesurées durant les saisons d'Hiver et d'Eté.</i>
Figure n°28	<i>Classification hiérarchique ascendante des stations échantillonnées en Hiver.</i>
Figure n°29	<i>Classification hiérarchique ascendante des stations échantillonnées en Eté.</i>
Figure n°30	<i>Classification hiérarchique ascendante des stations échantillonnées en Hiver.</i>

Figure n ° 31	<i>Classification hiérarchique ascendante des stations échantillonnées en Eté.</i>
Figure n ° 32	<i>Projection des stations échantillonnées en Hiver dans le cercle de corrélation.</i>
Figure n ° 33	<i>Projection des stations échantillonnées en Eté dans le cercle de corrélation.</i>
Figure n ° 34	<i>Projection des stations échantillonnées en Hiver dans le cercle de corrélation.</i>
Figure n ° 35	<i>Projection des stations échantillonnées en Eté dans le cercle de corrélation.</i>
Figure n ° 36	<i>Projection des saisons d'échantillonnage (Eté, Hiver) dans le plan factoriel F1xF2.</i>
Figure n ° 37	<i>Projection des saisons d'échantillonnage (Eté, Hiver) dans le plan factoriel F1xF2.</i>
Figure n ° 38	<i>Carte des concentrations du plomb en saison d'Hiver dans la ville de Sidi Bel Abbes (Algérie occidentale).</i>
Figure n ° 39	<i>Carte des concentrations du plomb en saison d'Eté dans la ville de Sidi Bel Abbes (Algérie occidentale).</i>
Figure n ° 40	<i>Carte des concentrations du zinc en saison d'Hiver dans la ville de Sidi Bel Abbes (Algérie occidentale).</i>
Figure n ° 41	<i>Carte des concentrations du zinc en saison d'Hiver dans la ville de Sidi Bel Abbes (Algérie occidentale).</i>

Liste des Tableaux

Tableau n°01	<i>Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère (Source : Lacour, 2001).</i>
Tableau n°02	<i>Rapport entre le flux lié à l'activité humaine et le flux naturel (Source : Di Benedetto, 1997).</i>
Tableau n°03	<i>Estimation des émissions polluantes (les chiffres sont exprimés en (g/kg.an) pour 1 km de route, 12 000 véhicules/jour et une chaussée à deux voies) (Source : Pagotto, 1999).</i>
Tableau n°04	<i>Teneurs en métaux traces de divers fluides (Source : Shaheen, 1975).</i>
Tableau n°05	<i>Composition moyenne des gaz d'échappement pour un véhicule léger essence et diesel (Source : Pagotto, 1999).</i>
Tableau n°06	<i>Influence de la masse des véhicules utilitaires sur les émissions à l'échappement et les consommations unitaires (Source : Pagotto, 1999).</i>
Tableau n°07	<i>Statistiques des données climatiques de Sidi Bel Abbes sur 65 ans (Source : Weatherbase, 2011).</i>
Tableau n°08	<i>Codification des stations ayant servi à la transplantation du lichen.</i>
Tableau n°09	<i>Répartition en classes et sous classes des stations en fonction des valeurs des concentrations de Plomb traitées par une classification hiérarchique ascendante (saison d'hiver).</i>
Tableau n°10	<i>Répartition en classes et sous classes des stations en fonction des valeurs des concentrations de Plomb traitées par une classification hiérarchique ascendante (saison d'été).</i>
Tableau n°11	<i>Répartition en classes et sous classes des stations en fonction des valeurs des concentrations de zinc traitées par une classification hiérarchique ascendante (saison d'hiver).</i>
Tableau n°12	<i>Répartition en classes et sous classes des stations en fonction des valeurs des concentrations de zinc traitées par une classification hiérarchique ascendante (saison d'été).</i>

Table des matières

Remerciements	
Résumé	
Summary	
ملخص	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1

Partie 1: Synthèse bibliographique.

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique.

I-1- La qualité de l'air	4
I-2-Définition de la pollution atmosphérique	5
I-3-Sources de pollution	6
I-4-La dispersion des polluants atmosphériques	6
I-5-Les différents types de pollution	7
I-5-1-Les polluants primaires	7
I-5-2-Les polluants secondaires	8
I-6-Les différents types de polluants	8
I-7-Les composés organiques	9
I-7-1-Les Composés Organiques Volatiles (COV)	9
I-7-2-Les Produits Organiques Persistants (POP)	9
I-8-Les métaux lourds	9
I-9-Les particules	9
I-10-Les Chlorofluorocarbones	10
I-11-Dépôt des polluants	10
I-11-1-Formes des dépôts atmosphériques	11
I-11-1-1-Les dépôts humides	11
I-11-1-2-Les dépôts secs	12
I-11-1-3-Les dépôts occultes	12
I-11-1-4-La sédimentation	12
I-11-1-5-L'enlèvement	13
I-11-1-5-1-L'enlèvement sec	13
I-11-1-5-2-L'enlèvement humide	13
I-12-Les cycles de la pollution	13
I-12-1-Le cycle annuel	13
I-12-2-Le cycle hebdomadaire	13
I-12-3-Le cycle journalier	13
I-13-Les effets des différentes substances polluantes	14
I-13-1-Impact sur l'environnement	14
I-13-1-1-Effets sur l'environnement au niveau local et régional	15
I-13-1-1-1-Les pluies acides	15
I-13-1-1-2-L'eutrophisation	15
I-13-1-2-Effets sur l'environnement au niveau planétaire	16

I-13-1-2-1-L'effet de serre	16
I-13-1-2-2- Changements climatiques	16
I-13-1-2-3- Le trou dans la couche d'ozone	16
I-13-2- Impact sur la santé	17
I-13-3- Impact sur les matériaux	17

Chapitre II : les émissions dues au trafic routier

II-1- Prévision des épisodes de pollution	18
II-2- Présentation des principaux polluants	18
II-3- Origine et Nature des particules	20
II-3-1- Emission des moteurs	20
II-3-2- Usure et corrosion	20
II-3-2-1- Usure de la chaussée	20
II-3-2-2- Usure des pneumatiques	20
II-3-2-3- Usure des garnitures de freins	20
II-3-2-4- Usure et corrosion des véhicules	21
II-4- Formation des polluants	21
II-4-1- La formation de CO et CO ₂	21
II-4-2- Les oxydes d'azote NO _x	21
II-4-3- Les Composés Organiques Volatiles (COV)	22
II-4-4- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	22
II-4-5- Ozone	23
II-4-6- Les métaux lourds	23
II-4-6-1- Origines naturelles et humaines des métaux lourds dans l'environnement	24
II-4-6-2- Identification des principales sources des éléments traces métalliques	25
II-4-6-3- Généralités sur les métaux lourds considérer dans cette étude (Pb, Zn)	27
II-4-6-3-1- le plomb	27
II-4-6-3-1-1- Propriétés fondamentales	27
II-4-6-3-1-2- Cycle et sources naturelles et anthropiques	27
II-4-6-3-2- Le zinc	28
II-4-6-3-2-1- Propriétés fondamentales	28
II-4-6-3-2-2- Cycle et sources naturelles et anthropiques	28
II-4-7- Autres métaux	28
II-4-8- Les particules	28
II-4-8-1- Les particules diesel	30
II-4-8-2- Les particules minérales	31
II-5- Facteurs influençant l'émission des polluants	31
II-5-1- Facteurs liés aux véhicules	31
II-5-1-1- Les types de véhicule	31
II-5-1-2- Variations entre les carburants et les diverses technologies	32
II-5-1-2-1- Les carburants	32
II-5-1-2-2- Comparaison moteur à essence/moteur diesel et systèmes de dépollution associés	32
II-5-1-2-3- Etat et entretien du véhicule	33
II-5-1-2-4- Niveau de chargement et aérodynamisme	34
II-5-2- Facteurs liés aux conducteurs	34
II-5-3- Facteurs liés aux conditions de circulation	34
II-5-4- Facteurs liés à la route	35
II-5-5- Facteurs climatiques	35

Chapitre III : Biosurveillance sur la qualité de l'air à l'aide de lichens

III-1- Relation entre les plantes et les métaux lourds	36
III-2- L'analyse des transferts	37
III-2-1- La connaissance générale	37
III-2-2- L'application pratique	37
III-2-3- Procédé de phytoremédiation	37
III-3- Mode de contamination des végétaux	38
III-3-1- Par voie aérienne	38
III-3-2- Par le sol	40
III-4- Biosurveillance végétale de la pollution atmosphérique	41
III-4-1- Méthodes de mesure de la pollution atmosphérique	41
III-4-1-1- Méthodes physicochimiques	42
III-4-1-2- Méthodes Biologiques	42
III-5- Relation entre les végétaux et la pollution	43
III-6- Estimation de la qualité de l'air a l'aide de certaines espèces végétales par les méthodes de Bioindication	44
III-6-1- Définitions	44
III-6-1-1- La Bioindication	44
III-6-1-2- Les Bioessais	44
III-6-1-3- La Bioestimation	44
III-6-1-4- Le Biomonitoring	44
III-6-1-5- Bioaccumulation	45
III-7- Lichens et Bioaccumulation	46

Partie 2 : Etude Expérimentale

Chapitre I : Présentation du site d'étude

I-1-Situation générale de la ville de Sidi Bel Abbés	50
I-2-Caractéristiques climatiques	51
I-3-Caractéristiques topographiques	52
I-4-Caractéristiques édaphiques	52
I-5-Occupation du sol	52
I-6-Organisation de la ville de Sidi Bel Abbas	53
I-7-Structure de la ville de Sidi Bel Abbas	53
I-8-Situation démographique	55
I-8-1-Répartition de la population par sexe et par âge	55
I-9-Réseau routier et voies de communications	55
I-9-1-Accessibilité et infrastructure de liaison de la ville	56
I-9-2-Les sens de circulation	57
I-10-Trafic routier	57
I-11-Consommation des carburants au niveau de la ville de Sidi Bel Abbas	59

Chapitre II: Méthodes et techniques utilisées

II-1- Le matériel Végétal	61
II-2- Transplantations lichéniques et choix des sites	61
II-3-Prélèvement des échantillons	65
II-4-Traitement des échantillons	65

II-5- Méthodes statistiques	66
I-6- Cartographie de la pollution atmosphérique	67

Chapitre III : Résultats et discussion

III-1- Les concentrations en plomb et en Zinc dans les différentes stations échantillonnées	68
III-1-1- Les teneurs en plomb durant les deux saisons	68
III-1-1-1- La saison d'Hiver	68
III-1-1-2- La saison d'Eté	69
III-1-1-3- Comparaison des concentrations de Plomb des saisons d'Hiver et d'Eté	70
III-1-1-2- Les teneurs en Zinc durant les deux saisons	71
III-1-1-2-1- La saison d'Hiver	71
III-1-1-2-2- La saison d'Eté	72
III-1-1-2-3- Comparaison des concentrations de zinc des saisons d'Hiver et d'Eté	73
III-2- Dispersion des concentrations de plomb et de Zinc dans les différentes stations	74
III-2-1- Dispersion du Plomb	74
III-2-1-1- La saison d'hiver	74
III-2-1-2- la Saison d'été	76
III-2-2- dispersion du Zinc	79
III-2-2-1- La saison d'hiver	79
III-2-2-2- La saison d'été	81
III-3- Analyse en composantes principales des stations échantillonnées	84
III-3-1- Pour le Plomb	84
III-3-1-1- En saison d'hiver	84
III-3-1-2- En saison d'été	85
III-3-2- Pour le Zinc	87
III-3-2-1- En saison d'hiver	88
III-3-2-2- En saison d'été	88
III-4- Analyse en composantes principales des saisons d'échantillonnage en fonction des concentrations	89
III-4-1- Analyse en composantes principales des saisons d'échantillonnage en fonction des concentrations de plomb	90
III-4-2- Analyse en composantes principales des saisons d'échantillonnage en fonction des concentrations de zinc	90
III-5- Cartographie des concentrations atmosphériques de plomb et de zinc	92
III-5-1- Cas du plomb	92
III-5-2- Cas du zinc	96
Conclusion	99
Références bibliographiques	
Annexes	
Publication	

«Le monde contient bien assez pour les besoins de chacun, mais pas assez pour la cupidité de tous».

« Gandhi ».

INTRODUCTION

Introduction

La pollution de l'air est aujourd'hui certaine en Algérie. La plus importante source reste le transport routier et plus particulièrement le trafic urbain qui est en constante croissance dans les grandes agglomérations. Cette source est dynamique et difficile à appréhender tant à l'échelle unitaire (véhicule) qu'à l'échelle des flux. La part du transport routier dans l'émission de polluants urbains reste prépondérante, malgré une baisse des émissions, obtenue récemment après d'importants efforts technologiques et législatifs sur certains polluants régulièrement suivis. Les raisons sont essentiellement dues aux comportements d'achat et l'usage de l'automobile **(Belhadj, 2009)**.

Les sources chroniques d'éléments traces métalliques en milieu routier sont 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 solides du véhicule et en partie à l'utilisation de différents fluides **(Deletraz, 2002)**. Le trafic et les infrastructures routières constituent une source importante de métaux lourds rejetés dans l'environnement **(Delmas-Gadras, 2000)**.

Le principal polluant métallique émis, le plomb, se trouve dans les gaz d'échappement et dans les poussières émises par l'usure des garnitures de freins (75 % du plomb contenu dans l'essence est émis dans les gaz d'échappement des moteurs **(Deletraz, 2002)**). Cependant on a noté que l'origine du plomb dans l'environnement était respectivement de 20 % dans les déchets agricoles, 38 % dans les déchets urbains et 40 % dans les retombées de poussières **(Fernandez-Cornudet, 2006)**. En Algérie, l'adjonction du plomb dans l'essence est de 0,45 g/l **(Semadi, Deruelle, 1993)**. Ce plomb est rejeté dans l'air sous forme d'aérosols. Le plomb est un polluant particulièrement toxique pour la santé humaine. Cette toxicité est renforcée par un phénomène d'assimilation et de concentration dans l'organisme qu'on appelle la bioaccumulation.

Le zinc, en revanche, est un élément essentiel à la vie biologique, mais il peut devenir toxique au delà d'une certaine concentration. **(Legret et al, 1988; Walter et al, 1991)**.

La surveillance de la qualité de l'air, généralement assurée par des réseaux de capteurs physico-chimiques donnant des valeurs numériques, se heurte rapidement à la faible représentativité de l'échantillon, à des difficultés analytiques en raison de la présence fréquente de faibles teneurs, aux coûts et à la maintenance des appareils de mesure physico-chimiques.

Une alternative consiste alors à avoir recours à des techniques intégratives de mesure capables d'apprécier la contamination du milieu, c'est-à-dire à des méthodes basées directement sur l'observation et l'étude des réactions d'organismes vivants exposés aux épisodes de pollution. Ces méthodes de bioindication ou, plus précisément, de biosurveillance s'appuient sur l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, cellulaire, tissulaire, biochimique, physiologique, 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.

La mesure des teneurs en polluants dans des végétaux sensibles permet de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope (**Maatoug et al, 2007**). Si l'on ajoute l'approche simple et rapide de ces méthodes originales, celles-ci, en fournissant des informations supplémentaires sur les risques biologiques, apparaissent maintenant comme des méthodes complémentaires et incontournables des méthodes physico-chimiques de surveillance de l'air (**Leblond, 2004**).

Les lichens sont des organismes particulièrement bien adaptés pour l'étude des polluants atmosphériques gazeux et particulaires. Ils doivent cette efficacité à leurs particularités anatomiques (structure végétative sous forme de thalle se traduisant par un ratio surface/volume très élevé, absence de cuticule cireuse, de stomates et de vaisseaux conducteurs, présence d'un cortex riche en mucilages et souvent de structure poreuse) et leurs caractéristiques physiologiques. Ils seront de ce fait sensibles aux retombées des polluants présents à la fois dans les dépôts secs et dans les dépôts humides (**Garrec, Van Haluwyn, 2002**).

L'étude permet de quantifier et d'analyser les émissions de plomb et de zinc engendrées par le trafic routier en zone urbaine de la ville de Sidi Bel' Abbés (Algérie occidentale). Les résultats préliminaires escomptés à travers cette étude mettent l'accent sur les effets des conditions climatiques et de la pente dans la dispersion des fines particules de plomb et de zinc en suspension dans l'atmosphère. Ces dernières ne sont pas sans effets sur la santé humaine en particulier les enfants de bas âge.

Cette étude a permis de quantifier et de cartographier la pollution atmosphérique par le plomb et le zinc à l'aide des transplants de *Xanthoria parietina* (L.) afin de délimiter les zones névralgiques dans la ville de Sidi Bel Abbes (Algérie occidentale) méritant une attention particulière.

Le plan adopté est comme-suit :

➤ **Introduction.**

➤ **Première partie :** la recherche bibliographique regroupe les différents travaux sur la pollution atmosphérique due au trafic routier, elle est composée de trois chapitres :

- **Chapitre I-** Généralités sur la pollution de l'air.
- **Chapitre II-** les émissions dues au trafic routier.
- **Chapitre III-** Bio surveillance de la qualité de l'air à l'aide de lichens.

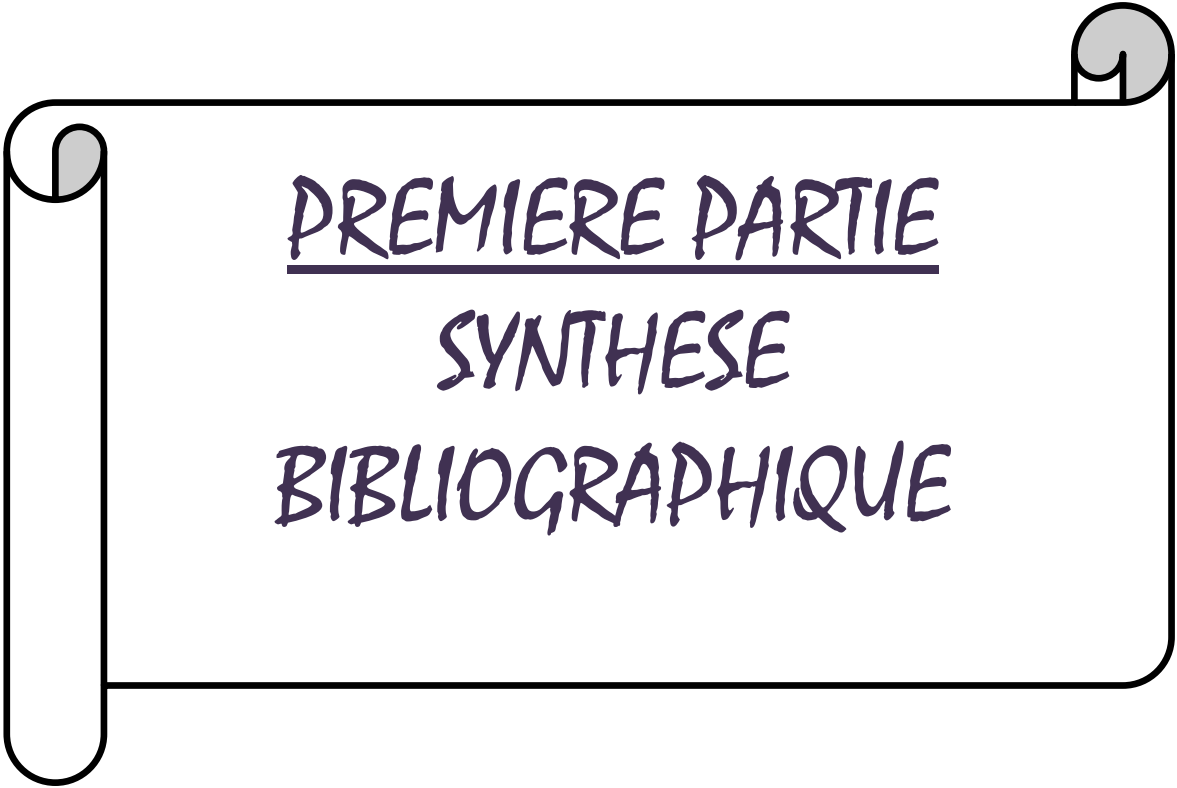
➤ **Seconde partie :** Concerne l'étude expérimentale et elle est constituée par trois chapitres à savoir :

- **Chapitre I :** Présentation du site d'étude qui comprendra :
 - ✓ La description générale de la ville de Sidi Bél Abbés.
 - ✓ Le trafic routier au niveau de la ville de Sidi Bél Abbés.
- **Chapitre II :** Méthodes et techniques utilisées à savoir :
 - ✓ Le choix du matériel végétal.
 - ✓ Le choix des sites d'étude.
 - ✓ Les Techniques de prélèvement et méthodes de dosage.
- **Chapitre III :** Résultats et discussion.

Les résultats obtenus sont présentés et discutés selon les paramètres pris en considération :

- ✓ Les conditions climatiques (pluviométrie, vitesse du vent) ;
- ✓ La pente et réseau routier ;
- ✓ Les teneurs en polluants accumulés ;
- ✓ La répartition des polluants diffus ;
- ✓ Les statistiques sur le parc automobile ;
- ✓ Consommation de carburants ;
- ✓ La cartographie des sites urbains pollués.

➤ **Conclusion Générale.**



PREMIERE PARTIE
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I



**GENERALITES SUR LA
POLLUTION
ATMOSPHERIQUE**

L'atmosphère terrestre est un des plus grands biotopes existant sur terre, c'est-à-dire, un milieu naturel ayant des caractéristiques physico-chimiques uniformes et qui héberge des êtres vivants. Constituée principalement de 78,11% d'Azote et de 20,953% d'Oxygène, elle est nécessaire à la vie sur terre.

La pollution atmosphérique est le résultat des modifications de la composition chimique de l'air sous l'effet des activités humaines. Ce phénomène se manifeste sur une très grande ampleur, de l'échelle urbaine jusqu'à l'échelle planétaire, avec à chaque fois des conséquences et des risques différents pour la santé et les écosystèmes. , c'est pour cela que diverses disciplines techniques et scientifiques sont concernées par les problèmes de la pollution atmosphérique.

I-1- La qualité de l'air :

La qualité de l'air est souvent associée à la qualité de vie. La pollution atmosphérique a un impact sur les activités humaines et représente un coût tant humain qu'économique. La surveillance des concentrations en polluants dans l'atmosphère, plus particulièrement dans les zones à forte exposition de la population, est importante et permet à la fois d'informer les citoyens sur la situation et de prendre les dispositions ou réglementations appropriées pour limiter, si possible ces concentrations (**CITEPA, 2003**).

La qualité de l'air est une combinaison complexe de paramètres et processus souvent couplés (figure n°01), ce qui rend son étude des plus difficiles. Il est bien sûr nécessaire de connaître le mieux possible les conditions climatologiques et météorologiques locales sur la zone considérée mais la bonne connaissance des émissions de polluants est indispensable.

Il est donc nécessaire de disposer d'une description aussi précise que possible des émissions tant anthropiques que biogènes, que ce soit dans leurs composantes spatiotemporelles que dans leur nature chimique.

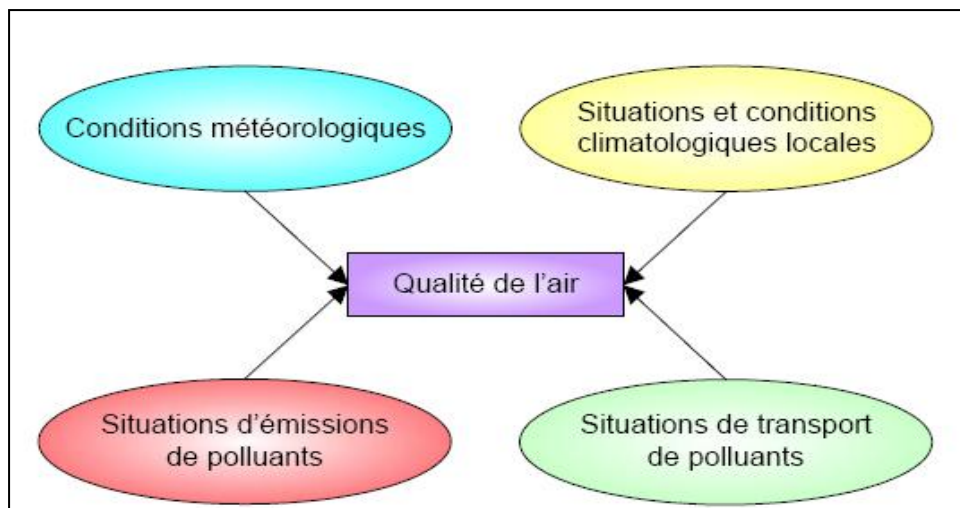


Figure n° 01 : Paramètres qui conditionnent la qualité de l'air (Source : Ponche, 2003)

I-2- Définition de la pollution atmosphérique :

Ce qui Constitue une pollution atmosphérique, c'est 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 (**Laure, 1996**).

En effet, quand le terme de pollution est pris à son sens le plus large, il englobe toute action par laquelle l'homme dégrade la nature.

La pollution atmosphérique découle des modifications de la composition chimique de l'air, sous l'effet des activités humaines. Elle peut se manifester depuis l'échelle urbaine et locale jusqu'à l'échelle planétaire et les risques liés à ces changements ne sont pas de même nature selon l'échelle spatio-temporelle concernée. Les changements de la composition chimique de l'air à l'échelle planétaire se manifestent notamment par un accroissement des teneurs en gaz à effet de serre tels que le gaz carbonique ou le méthane, et génèrent principalement un risque de modification majeure du climat de la planète. En revanche, les pollutions locales, en milieu industriel ou urbain par exemple, présentent surtout des risques pour la santé humaine du fait des teneurs en polluants tels que les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, les particules, qu'on peut alors rencontrer. D'autres formes de pollution se manifestent également aux échelles intermédiaires, notamment sous forme de pollutions acido-oxydantes, et peuvent affecter les écosystèmes.

Le tableau n°01 renseigne sur l'ordre de grandeur de la durée de vie dans l'atmosphère de quelques polluants :

Tableau n°01 : Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère (Source : LACOUR, 2001).

Substances	Durée de vie des polluants dans l'air
CH ₄	Année
CO	Mois
SO ₂	Jours à mois
OZONE	Quelque jour
COV	Heurs à jours
Aérosols 1-10µm	Minutes à jours
Aérosols 1 µm	Jours à semaines

I-3- Sources de pollution :

Avec l'avènement de nos civilisations modernes, les quantités de substances diverses rejetées dans l'atmosphère, altérant la composition normale de l'air, n'ont cessé d'augmenter. La quasi totalité des activités humaines est source de pollution de l'air, qui apparaît essentiellement sous deux formes :

- Gazeuse : présence de gaz nouveaux ou augmentation de la proportion d'un gaz existant.
- Solide : mise en suspension de poussières.

On peut mettre en évidence trois principales sources de pollution anthropiques :

- la circulation automobile ;
- les installations industrielles (activités métallurgiques, pétrochimie, chimie, usine d'incinération...);
- les installations de combustion (chauffage, production d'énergie...).

Il ne faut cependant pas oublier les sources domestiques et agricoles qui participent elles aussi à la pollution atmosphérique. La pollution atmosphérique peut avoir une origine naturelle : éruption volcanique, incendies spontanés, zones de marais... (**Ramade, 2002**).

I-4- La dispersion des polluants atmosphériques :

Les masses d'air sont les principaux vecteurs de circulation des polluants (figure n°02).

Leur circulation est sous l'influence :

- **de la topographie:** le relief naturel mais aussi celui de l'urbanisation.
- **de la situation géographique:** sous l'effet du rayonnement solaire, la terre se réchauffe plus vite que la mer dans l'après-midi et en fin de journée. Le phénomène de brise de mer (ascension de l'air chaud au dessus des terres, création de zone de convergence au-dessus de la côte) est ainsi créé. De même, une brise de terre est engendrée la nuit et tôt le matin, quand la terre se refroidit plus vite que la mer.

- des conditions météorologiques :

***L'ensoleillement:** la température agit sur la chimie des éléments. L'action des rayons ultra-violet favorise la pollution d'origine photochimique tandis que le froid diminue la volatilité de certains gaz.

***L'humidité:** favorise certaines réactions chimiques telles que la formation d'acides comme (HNO_3 - H_2SO_4).

***L'inversion thermique:** En situation normale, la température décroît avec l'altitude et l'air chaud contenant les polluants au niveau du sol, se déplace verticalement.

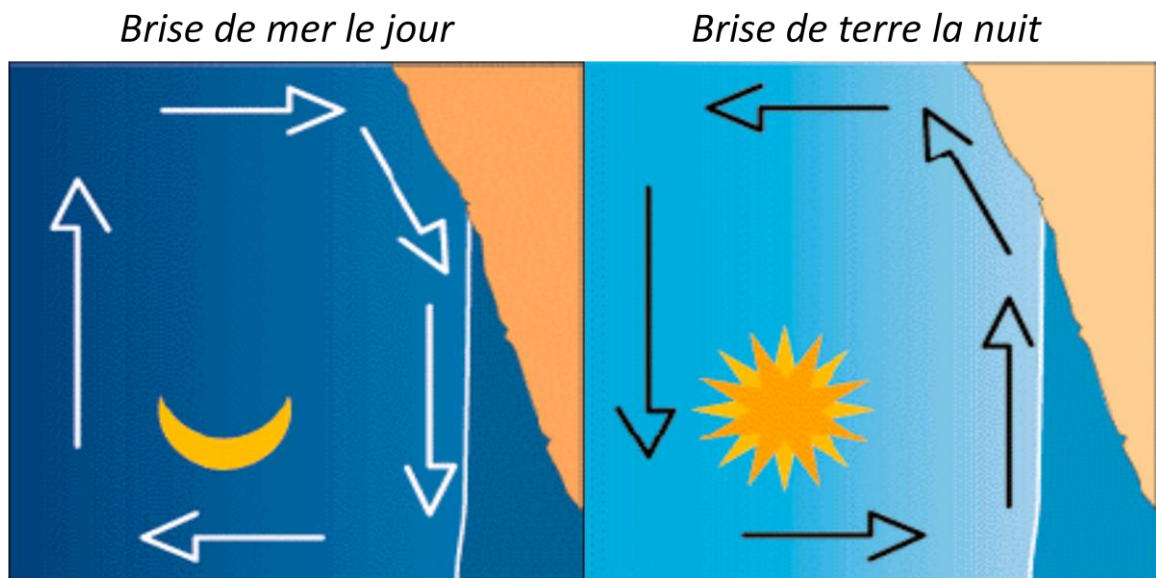


Figure n°02 : Circulation des polluants atmosphériques (Source : APPA, 2003).

La pollution hivernale est essentiellement liée à la présence de NO_x, SO₂ et de poussières. Les conditions propices de son apparition sont l'inversion de température ou l'atteinte du point de saturation de certains polluants. Le tout provoquant une condensation en microgouttelettes, formant le smog.

I-5- Les différents types de pollution :

Les différentes substances ont des durées de vie extrêmement variables dans l'atmosphère. Cette situation explique que les problèmes de pollution se situent sur des différentes échelles de temps et d'espace très variables. Voici l'ordre de grandeur de la durée de vie dans l'atmosphère de quelques polluants :

I-5-1- Les polluants primaires :

Sont les polluants que l'on trouve à l'endroit de l'émission. Par exemple, le CO est un polluant primaire (Schutz, 1995).

I-5-2- Les polluants secondaires :

Sont des polluants qui ne sont pas émis, mais qui résultent de la transformation physico-chimique des polluants primaires au cours de leur séjour dans l'atmosphère. Par exemple, l'ozone résulte de réactions chimiques impliquant notamment les oxydes d'azote et les COV (Lacour, 2001).

I-6- Les différents types de polluants :

On distingue souvent la pollution atmosphérique à l'échelle locale, la pollution à l'échelle régionale et la pollution à l'échelle globale.

La première forme de pollution provient de sources de proximité telles que les installations industrielles ou les véhicules. Les polluants les plus caractéristiques de cette échelle d'impact sont les particules (PM), les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre

(SO₂), le monoxyde de carbone (CO), les composés organiques volatiles (COV), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les métaux.

La seconde forme de pollution résulte de phénomènes physico-chimiques plus ou moins complexes à l'origine de la formation dans l'atmosphère de polluants dits « secondaires » à partir de polluants dits « primaires » ; un exemple important de tels polluants « secondaires » est l'ozone (O₃). Cette forme de pollution est dite « régionale » car l'échelle du territoire affectée par ces phénomènes est large. La dernière forme de pollution concerne les substances impliquées dans les phénomènes de changements climatiques (les « gaz à effet de serre » et, en particulier, le CO₂) (**Schutz, 1995**).

Exemples de polluants les plus répandus :

- le dioxyde de soufre: SO₂ ;
- le monoxyde de carbone: CO ;
- le dioxyde d'azote : NO₂ ;
- l'ozone: O₃ ;
- les particules (PM10) ;
- le benzène: C₆H₆ ;
- le plomb: Pb ;
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques: 6 (HAP) ;
- le cadmium: Cd ;
- l'arsenic: As ;
- le nickel: Ni ;
- le mercure: Hg.

I-7- Les composés organiques :

I-7-1- Les Composés Organiques Volatiles(COV) :

Les COV regroupent une multitude de substances et ne correspondent pas à une définition très rigoureuse. Les hydrocarbures appartiennent aux COV et on fait souvent l'amalgame à tort. Ceci est sans doute dû au fait que l'on exprime souvent les COV en hydrocarbures totaux (notés HC), en équivalent méthane ou propane, ou par rapport à un autre hydrocarbure de référence. Il est fréquent de distinguer séparément le méthane (CH₄) qui est un COV particulier, naturellement présent dans l'air, des autres COV pour lesquels on emploie alors la notation COVNM (**CITEPA, 2001**).

I-7-2- Les Produits Organiques Persistants (POP) :

Il existe douze composés organiques toxiques à basse concentration. Ce sont des résidus industriels souvent toxiques, mutagènes et cancérigènes, qui interfèrent avec notre système hormonal et sexuel. La liste la plus communément admise est la suivante : Trichloréthylène (TRI), Trichloroéthane (TCE), Tetrachloroéthylène (PER), Dioxines et furanes (Diox), Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), Polychlorobiphényles (PCB) et Hexachlorobenzène (HCB). Ils sont semi-volatiles et circulent plus ou moins bien dans l'air, en fonction de la température de celui-ci : dans les endroits froids, leur volatilité est réduite et ils se concentrent donc dans les régions tempérées et polaires (**Degobert, 1992**).

I-8- Les métaux lourds :

Les métaux lourds désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux : traces ou d'éléments traces métalliques. On considère en général les métaux lourds suivants : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn) (**Parmentier et Garrec, 1994**).

I-9- Les particules :

Les particules regroupent également une variété importante de substances. Le terme de particules désigne en général la fraction des composants (liquides ou solides) en suspension dans le milieu gazeux. Souvent, les particules sont classées en fonction de leur granulométrie :

- Particules en suspension (TSP) : masse totale de particules.
- PM10 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 10 μm .
- PM2.5 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 2.5 μm .
- PM1.0 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 1 μm .
- Ultrafines : particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 0.1 μm .
- Nanoparticules : particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 0.05 ou 0.03 μm .

La composition chimique des particules est également un paramètre très important pour les études de pollutions atmosphériques (**Mazoue et Setra, 1994**).

I-10- Les Chlorofluorocarbones :

Les chlorofluorocarbones ou les CFCs (également connus sous le nom de Fréons) sont non toxiques, ininflammables et non-cancérogènes. Ils contiennent des atomes de fluor, des atomes de carbone et des atomes de chlore. Les cinq CFCs principaux incluent le: CFC-11 (trichlorofluorométhane - CFCl_3), CFC-12(dichlorodifluorométhane - CF_2Cl_2), CFC-113 (trichlorotrifluoroéthane - $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$), CFC-114(dichlorotétrafluoroéthane - $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$), et CFC-11(chloropentafluoroéthane - $\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$).

Les CFCs sont largement répandus comme liquides réfrigérants dans la réfrigération et les climatiseurs, comme dissolvants dans les décapants, en particulier pour les cartes électroniques, en tant qu'agents de soufflage dans la production de mousse (par exemple extincteurs), et comme propulseurs en aérosols. Leur durée de vie dans l'atmosphère varie de 20 à plusieurs centaines d'années. A l'heure actuelle, les CFC ne constituent plus un problème majeur de la pollution atmosphérique (**Escourrou, 1996**).

I-11- Dépôt des polluants :

Dans le langage courant, les phénomènes de retombée de la pollution atmosphérique sont improprement appelés « pluies acides ». Le terme est effectivement peu approprié car la réalité des dépôts de polluants atmosphériques est plus variée et sont loin d'avoir lieu uniquement sous forme humide. On préférera les termes de dépôt, déposition, retombée de polluants ou retombée atmosphérique ; termes qui correspondent mieux aux divers modes de transfert des polluants primaires ou secondaires de l'air, sous forme solide, liquide, ou gazeuse vers le sol (figure n° 03).

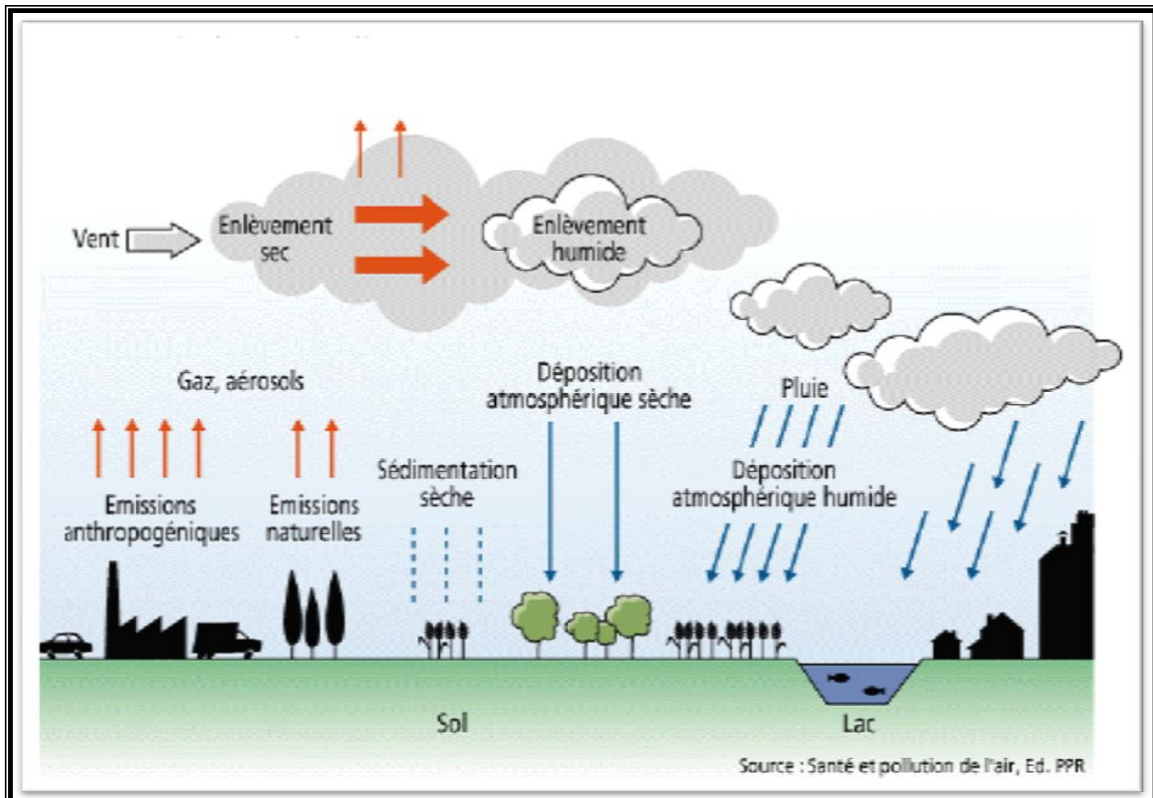


Figure n°03 : Emissions, transformation et dépôts de polluants (Source : CITEPA, 2001).

I-11-1- Formes des dépôts atmosphériques :

Les dépôts ont lieu sous forme sèche ou humide. Quelques processus intermédiaires peuvent être distingués :

I-11-1-1- Les dépôts humides :

Ils proviennent des précipitations (pluie, neige, bruine, brouillard, brume, givre). ces dépôts résultent de la solubilisation des polluants gazeux au sein de gouttelettes formées autour de fines particules, ou de l'entraînement mécanique des particules au cours d'événements pluvieux (Malbreil, 1997).

L'atmosphère est un milieu complexe dans lequel coexistent des espèces gazeuses, des particules solides d'aérosols et des gouttelettes liquides. Les interactions pouvant avoir lieu

entre ces différentes phases sont regroupées sous le terme de chimie multiphasique (figure n°04) .

Il s'avère toutefois que les interactions impliquant ces deux phases permettent des réactions qui ne peuvent se faire en phase gazeuse homogène telles que les réactions de surface ou les réactions incluant des espèces ioniques (**Desboeufs, 2001**).

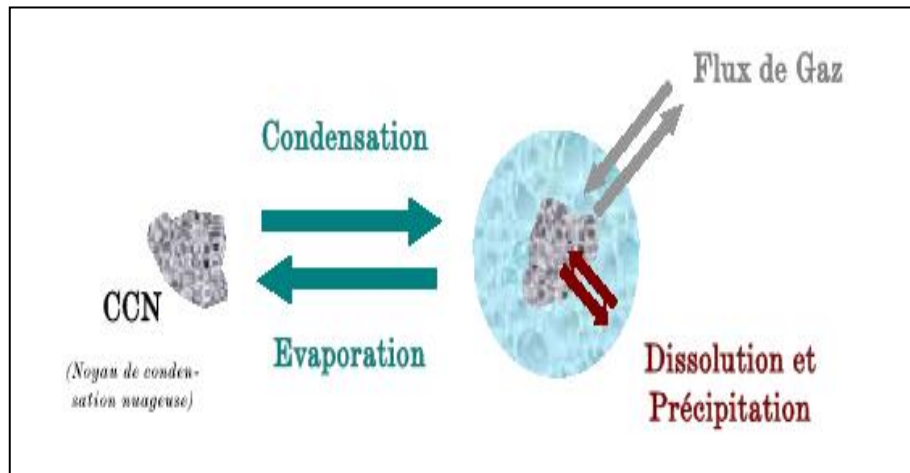


Figure n°04 : Schéma simplifié des processus Multiphasiques intervenant au sein d'une Goutte d'eau nuageuse (**Source : Desboeufs, 2001**).

Une croissance importante de la taille des gouttes peut aboutir à la formation de précipitations. Les grosses gouttes formées, principalement par collision ont une masse assez élevée pour tomber, entraînant les plus petites gouttes sur leur passage.

I-11-1-2- Les dépôts secs :

Ils sont composés de gaz et de diverses particules solides (poussières, aérosols...). De taille généralement inférieure à $2\mu\text{m}$ (**Lorenzin, 1992**), et ils constituent pour les polluants gazeux, un transfert des molécules de gaz depuis l'atmosphère jusqu'à la surface du sol ou de l'eau.

I-11-1-3- Les dépôts occultes :

Ce terme est parfois employé pour distinguer les dépôts humides sous forme de pluies, des dépôts humides se faisant par interception : un flux d'air plus ou moins humide (brume, brouillard, essentiellement) frôle la végétation qui capte alors les polluants (**Mazoue et SETRA, 1994**). Ce processus peut avoir une réelle influence. C'est le cas des brouillards et bruines en montagne où le phénomène est fréquent (**Jussy, 1998**).

I-11-1-4- La sédimentation :

Ce terme désigne le dépôt des particules les plus grosses sous leur propre poids (force gravitaire) (**Mazoue et SETRA, 1994**). Ce phénomène se produit à proximité des sources. Les particules plus fines, se comportant comme des gaz, peuvent être transportées plus loin et participent à la déposition sèche ou humide.

I-11-1-5- L'enlèvement:

I-11-1-5-1- L'enlèvement sec: « Dry removal »:

Désigne un processus de coagulation et d'agglomération de fines particules sur d'autres particules, plus grosses (**Mazoue et SETRA, 1994**).

I-11-1-5-2- L'enlèvement humide: « Wet removal »:

Correspond à l'absorption de gaz et d'aérosols par les microgouttelettes des nuages et du brouillard. Les enlèvements (sec et humide) entraînent la concentration des polluants dans l'air et concourent ainsi à diminuer les teneurs. Le dépôt peut se faire par interception : flux d'air plus ou moins humide frôlant la végétation qui capte alors les polluants (**Mazoue et SETRA, 1994**).

I-12- Les cycles de la pollution :

Si les « **polluants** » émis naturellement par les écosystèmes obéissent à des cycles (Les émissions varient selon les saisons), il en est de même pour ceux d'origine anthropique dont les teneurs évoluent en fonction de deux facteurs principaux : les conditions météorologiques et les fluctuations des émissions. Ces deux éléments sont eux-mêmes régis par un fonctionnement à plusieurs cycles : cycle annuel, hebdomadaire, et journalier.

I-12-1- Le cycle annuel :

Les concentrations des différents polluants évoluent au fil des mois. Elles permettent de mettre en évidence, soit l'influence de la saison dans les émissions de polluants (ceux liés au chauffage ou à l'augmentation des besoins en électricité), soit l'influence directe de conditions météorologiques particulières sur le comportement des polluants (transformation chimique notamment : stabilité atmosphérique plus ou moins marquée).

I-12-2- Le cycle hebdomadaire :

Si les conditions météorologiques ne connaissent pas de cycle hebdomadaire, la semaine rythme en revanche les activités humaines : les émissions varient fortement entre les jours ouvrés et les week-ends (trafic, activité économique) (**Roul, 1998 ; Durrieu, 1999**).

I-12-3- Le cycle journalier :

A l'échelle de la journée, on observe des variations dans les émissions liées aux activités humaines (heures de pointes) ainsi que les grands phénomènes physiques et chimiques induits par le cycle solaire (variation de l'ensoleillement). Les conditions dispersives évoluent au long d'une journée complète : stabilité des basses couches pendant la nuit, conditions dispersives plus favorables pendant la journée.....d'une manière globale, le cycle journalier met en évidence de grandes différences entre le jour et la nuit (**Roul, 1998**).

I-13- Les effets des différentes substances polluantes :

Bien que la concentration des polluants soit très faible dans l'atmosphère, ces substances ont des conséquences préjudiciables sur la santé humaine, l'environnement, les biens matériels (**Lacour, 2001**). La figure n°05 regroupe les causes et effets de la pollution atmosphérique.

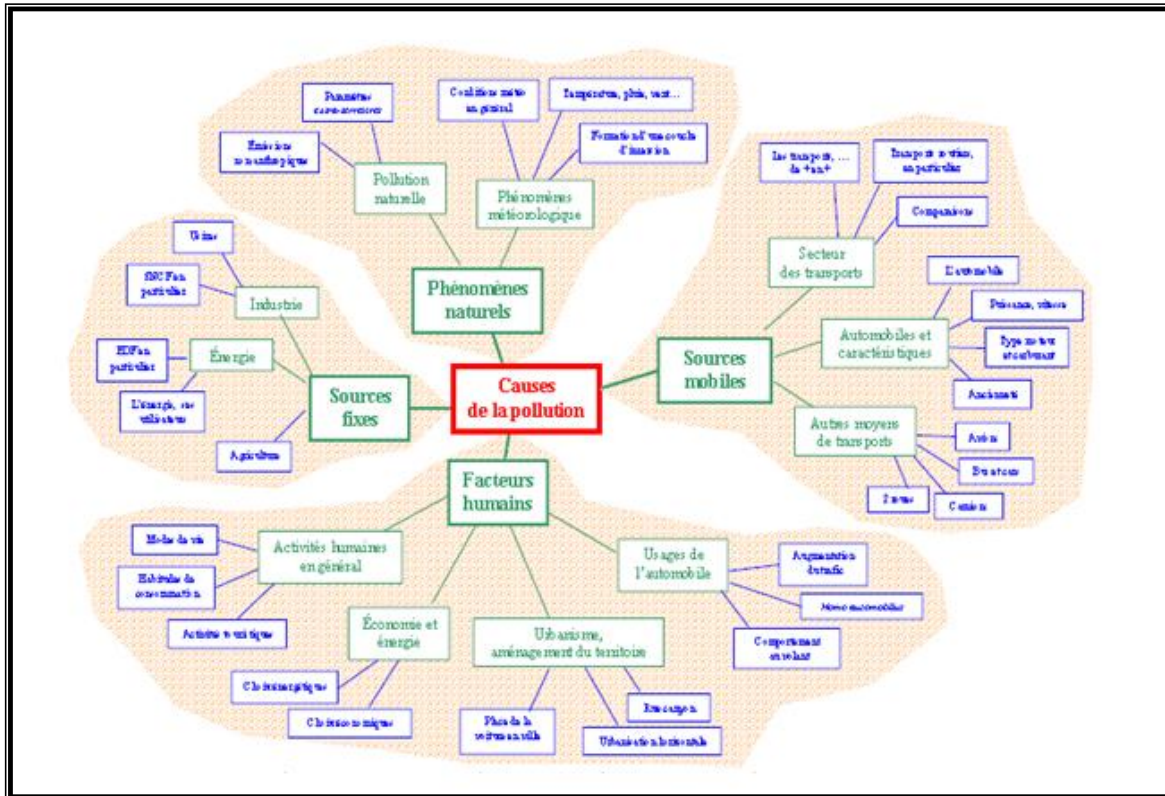


Figure n°05: Répartition graphique des substances polluantes (causes et effets) (Source : **Lacour, 2001**)

I-13-1- Impact sur l'environnement :

Les végétaux subissent les agressions de la pollution atmosphérique de manière continue. Les atteintes peuvent être perceptibles et se traduisent par des nécroses sur les feuilles, des chloroses (dégradation de la chlorophylle provoquant un jaunissement des feuilles ou des aiguilles qui se détachent par la suite), une réduction du nombre de fleurs ou même par un décollement de l'épiderme foliaire.

Elles peuvent aussi se manifester de façon plus diffuse en exerçant sur la végétation un ralentissement de la photosynthèse et de la croissance, entraînant au niveau des cultures une perte de rendement. Les végétaux sont aussi attaqués par les dépôts acides au sol qui fragilisent les racines. L'acidification des sols facilite le lessivage d'éléments minéraux qui ne sont plus disponibles pour les plantes. Elle modifie le recyclage de la matière organique en perturbant les microorganismes du sol. Ces microorganismes participant à la formation d'humus sont détruits et la litière non dégradée s'accumule, diminuant ainsi la vitesse de recyclage des éléments nutritifs minéraux. La végétation s'en retrouve affaiblie et se développe mal. Les végétaux étant les maillons importants des écosystèmes en tant que producteurs de matière organique, une atteinte de la végétation a des conséquences sur l'ensemble du fonctionnement de l'écosystème, y compris sur les communautés animales. Bien entendu, les polluants peuvent avoir des effets directs sur les animaux comme par exemple des pesticides sur les oiseaux (**Schutz, 1995**).

I-13-1-1- Effets sur l'environnement au niveau local et régional :

Les conséquences de la pollution sur le bâti et sur la végétation sont les principaux effets qui sont relevés. Ces aspects sont cependant peu traités.

Les effets de la pollution sur les végétaux peut se faire sentir localement mais aussi à une échelle plus grande, notamment à propos des pluies acides : les feuilles de plants de tabac par exemple réagissent aux polluants présents dans l'air, notamment à l'ozone ; « les oxydes d'azotes sont aussi responsables des pluies acides ».

I-13-1-1-1- Les pluies acides :

Les pluies acides sont un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide (pluies, neige, grêles, brouillard). Le dioxyde de soufre et les dioxydes d'azote sont les principales causes de pluies acides. Ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ou des sels. On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émissions, (pollution transfrontière à longue distance). Ceci concoure à des dépôts acides et à l'acidification accrue des pluies par rapport à celles résultante de la seule présence de gaz carbonique dans l'air, ce qui fait que le pH « naturel » d'une pluie est toujours acide, de l'ordre de 5,6.

D'autres polluants peuvent contribuer aux pluies acides, notamment l'acide chlorhydrique émis par incinération de certains déchets plastiques, ou l'ammoniac des activités agricoles. Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des milieux récepteurs, en particulier lorsque ceux-ci sont déjà acides. Ceci peut se répercuter par des atteintes sur la faune et la flore aquatique, des carences nutritives engendrent des chutes de rendement et des lésions visibles chez les végétaux, ainsi que des jaunissements et la défoliation des arbres (**Beyer et al, 1990**).

I-13-1-1-2- L'eutrophisation :

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

I-13-1-2- Effets sur l'environnement au niveau planétaire :

I-13-1-2-1- L'effet de serre :

En ce qui concerne l'effet de serre, les documents analysés abordent plusieurs aspects : le risque planétaire en lui même puis ses différentes conséquences, le réchauffement de la Terre, la hausse du niveau des mers, les surprises climatiques et les effets collatéraux.

Planète en danger ? « Allons-nous tuer la Terre ? », telle est la question... Pour certains, oui, « il y a péril en la demeure ». D'autres doutent encore : il faut encore attendre : « toutes les questions scientifiques ne sont pas résolues ».

La première conséquence de l'effet de serre, c'est le réchauffement de la planète. Le mécanisme du réchauffement est indispensable à la vie sur Terre mais il est gravement amplifié par l'Homme. Les différents indicateurs sont les concentrations dans l'atmosphère des différents gaz à effet de serre et l'évolution de la température au fil des années. Les premiers signes probables sont les températures exceptionnelles, les pluies abondantes, la fonte de tel ou tel glacier (**Lacour, 2001**).

I-13-1-2-2- Changements climatiques :

Après la hausse du niveau des mers, l'effet de serre est accusé de modifier les climats, à différents degrés. La modification des climats locaux voire la recrudescence des événements climatiques violents est suspectée. La question qui est sur toutes les lèvres est alors la suivante : quels sont les liens entre les récents caprices de la météo, et l'effet de serre ? L'effet de serre est suspecté de provoquer la hausse du niveau des mers et des modifications climatiques, parfois radicales et violentes. Ces événements s'accompagnent d'autres phénomènes, regroupés sous le terme « **effets collatéraux** » : risques sanitaires, répercussions économiques, modifications des modes de vie et perturbation des écosystèmes et diminution de la couche d'ozone.

I-13-1-2-3- Le trou dans la couche d'ozone :

La couche d'ozone localisée dans la stratosphère filtre à l'extérieur, les rayonnements dans la partie ultra-violet (UV) du spectre qui est préjudiciable aux cellules. Sans ozone, la vie sur terre ne serait pas ce qu'elle est aujourd'hui. Bien que les phénomènes naturels puissent causer la perte provisoire de l'ozone, le chlore et le brome libérés des composés synthétiques tels que les CFCs sont maintenant considérés comme cause principale de cet amincissement, les émissions de CFCs représentent environ 80% de l'amincissement total de l'ozone stratosphérique.

I-13-2- Impact sur la santé :

Les polluants atmosphériques pénètrent dans l'organisme par 3 voies possibles :

- les voies respiratoires : par inhalation (voie principale). De nombreuses enquêtes épidémiologiques et tests toxicologiques montrent que les atteintes respiratoires (irritation des muqueuses des voies aériennes et augmentation de certaines pathologies comme l'asthme, bronchiolites, allergies...) sont plus fréquentes dans les zones de forte pollution atmosphérique. La majorité des gaz atteint les alvéoles pulmonaires. Les particules, quant à elles, y pénètrent plus ou moins selon leur taille.

- la voie digestive : par ingestion d'aliments contaminés par retombées des polluants sur le sol et dans l'eau. (Dioxines issues de certains processus de combustion que l'on retrouve dans le lait de vaches, pesticides, métaux lourds).

- les voies cutanées (mode marginal de pénétration) : concerne quelques toxiques (ex : insecticides) pouvant traverser la peau pour pénétrer dans l'organisme et provoquer des pathologies.

L'analyse des effets à court terme de la pollution atmosphérique a permis d'observer que les niveaux actuels avaient encore un effet décelable par l'épidémiologie. Ainsi, les études menées dans ce domaine ont permis d'observer un impact significatif des polluants atmosphériques urbains sur la mortalité, en particulier pour cause cardiaque et respiratoire (**Pope et Dockery, 2006**).

Quel que soit l'indicateur, la relation est linéaire et il n'a pas été observé de seuil en dessous duquel il n'existerait pas d'effet décelable sur la mortalité au sein d'une population.

D'autre part, certaines études américaines de cohortes s'attachant aux effets à long terme de la pollution (notamment pour les particules en suspension) montrent que l'impact sanitaire de ces polluants n'est pas limité au seul effet à court terme. Ces études ont en effet observé un impact significatif de la pollution particulaire sur l'espérance de vie (**Künzli et al, 2005**).

I-13-3- Impact sur les matériaux :

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide (surtout liées au SO₂) qui entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. Il s'agit bien souvent de la décomposition de certaines pierres calcaires sous l'effet des acides. Les particules interviennent plutôt sur les aspects de salissures des bâtiments. La pollution atmosphérique met en danger notre patrimoine culturel et occasionne d'onéreux travaux de ravalement de façade ou de restauration des monuments.

CHAPITRE II



LES EMISSIONS DUES AU TRAFIC ROUTIER

La pollution atmosphérique générée par les transports, ses impacts sur la qualité de l'air et sur la santé préoccupent aussi bien les citoyens que les pouvoirs publics, en particulier en ce qui concerne le milieu urbain. Toutefois, la pollution issue du trafic routier a également des incidences sur les milieux naturels.

II-1- Prévision des épisodes de pollution :

La pollution de l'air ambiant peut varier énormément d'un jour à l'autre. Les concentrations peuvent être 5 à 20 fois supérieures à la moyenne. Ces variations s'expliquent en partie par la variabilité des émissions atmosphériques mais surtout par la complexité des phénomènes météorologiques qui contrôlent la dispersion des polluants ou au contraire leur accumulation (situation perturbée ou anticyclonique). Prévoir la qualité de l'air est donc un exercice difficile puisqu'il doit prendre en compte l'ensemble de ces facteurs.

La prévision en temps utile des épisodes de pollution correspond à une forte attente du public et des autorités susceptibles de prendre des mesures de réduction des émissions : par exemple agir sur la circulation des véhicules ou demander l'arrêt de certaines usines (centrales thermiques). Le but étant de limiter l'exposition des individus à des niveaux de pollution qui pourraient être nocifs pour la santé des personnes les plus sensibles, voire pour la santé de l'ensemble de la population (**Joumard et al, 1995**).

Les épisodes aigus de pollution ont généralement pour origine une accumulation de dioxyde d'azote NO₂ ou d'ozone O₃. La mauvaise dispersion liée à une situation anticyclonique associée à une forte chaleur et à une forte insolation favorisent la transformation chimique rapide des polluants émis par le trafic dans la matinée (HC et NO₂) et la formation d'O₃ dans l'après midi.

II-2- Présentation des principaux polluants :

Les véhicules à moteur sont l'une des principales sources de pollution ; Les voitures, les camions, les autobus, les autocars et autres véhicules à moteur continuent de porter une part de responsabilité importante dans la pollution atmosphérique. Les substances émises par le trafic routier sont très nombreuses et forment, à proximité des routes, un véritable cocktail de polluants dans l'air, voici la liste des principaux polluants liés au trafic : les oxydes de carbones (CO et CO₂) ; les oxydes d'azotes (NO_x) ; les composés organiques volatils (COV), parmi lesquels les hydrocarbures ; les particules ; les métaux lourds ; l'ozone troposphérique.

Les principaux polluants qui caractérisent la pollution d'origine automobile sont le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, les hydrocarbures et les particules. Une forte proportion de celles-ci provient des émissions des véhicules à moteur diesel, voitures particulières, véhicules utilitaires légers et poids lourds et, surtout pour les plus fines, des effets nocifs ont été révélés par des enquêtes épidémiologiques. Les plus grosses particules, également imputables au trafic, sédimentent et constituent une pollution visible. Des enquêtes effectuées à proximité de voies à fort trafic montrent la sensibilité des riverains à cette nuisance (**Gabet, 1999**).

Les polluants cités ci-dessus se classent en grandes catégories : On distingue les particules (contenues dans les gaz d'échappement ou issues de l'usure des véhicules et la chaussée), des gaz (gaz d'échappement ou évaporés des carburants). Les polluants émis directement sont appelés polluants primaires ; certains de ces polluants primaires sont

également des polluants précurseurs de polluants secondaires qu'ils participent (à travers des réactions chimiques dans l'atmosphère) à la synthèse de polluants photochimiques, également appelés polluants secondaires (figure n°06).

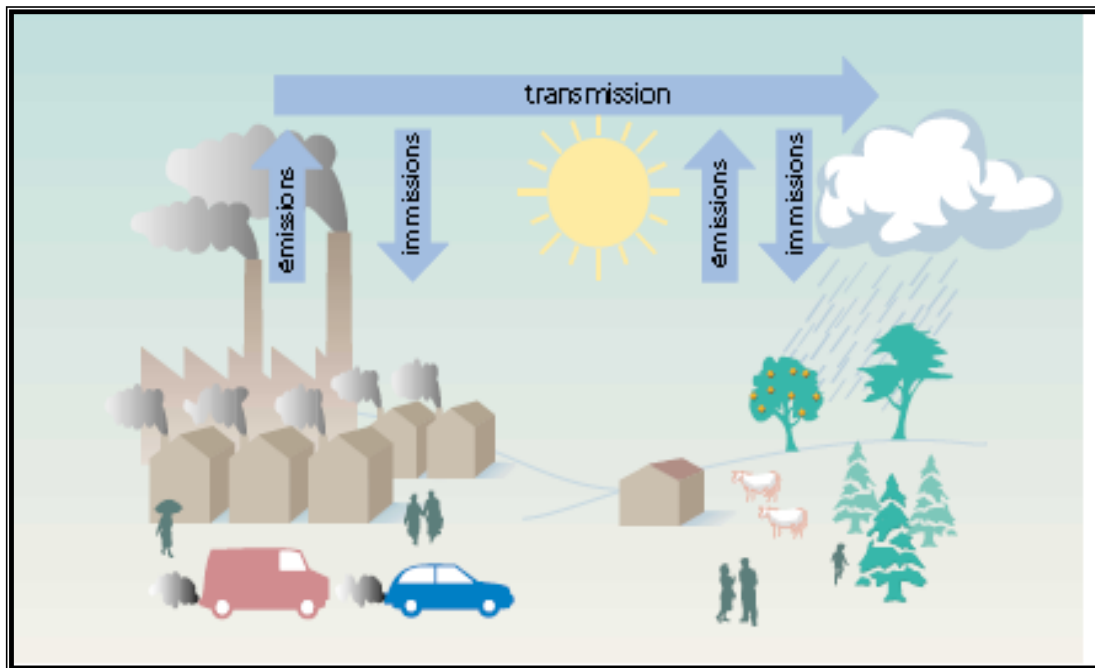


Figure n°06: Emissions des polluants dues au trafic routier.

II-3- Origine et Nature des particules :

Toutes les particules imputables au trafic routier ne proviennent pas des moteurs. On peut distinguer plusieurs sources qui peuvent correspondre à des tailles et à des compositions différentes :

II-3-1- Emission des moteurs :

La combustion des moteurs à essence est à l'origine de particules constituées en majorité de fer et de carbone. La régression des émissions de plomb est significative et doit se poursuivre avec la disparition du plomb dans l'essence.

Les émissions dues à la combustion du gaz oil contiennent des particules qui se présentent sous la forme d'agglomérats de petites particules arrondies de carbone (résidus de combustion de taille variant entre 0,01 et 0,8 μm) sur lesquelles se trouvent adsorbés les hydrocarbures et autres espèces minérales de type sulfate, nitrate (Gabet ,1999).

II-3-2- Usure et corrosion :

Les autres principales sources de particules sont les dégradations des matériaux dues aux frottements et à la corrosion.

II-3-2-1- Usure de la chaussée :

Les particules dues à l'usure de la chaussée par les pneus des véhicules contiennent principalement du silicium, du calcium, de l'aluminium, du fer, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (usure du bitume et des granulats plus ou moins enrobés).

II-3-2-2- Usure des pneumatiques :

Elle produit des particules composées de : noir de carbone, calcium, soufre, zinc et hydrocarbures aromatiques polycycliques.

II-3-2-3- Usure des garnitures de freins :

Elle produit des particules qui contiennent du : cadmium, zinc et liants organiques.

II-3-2-4- Usure et corrosion des véhicules :

L'usure et la corrosion des véhicules sont à l'origine de particules de fer, chrome, nickel, cuivre. Les processus sont accélérés en présence de sels de déverglaçage et d'humidité.

II-4- Formation des polluants :

II-4-1- La formation de CO et CO₂ :

Le CO, toxique puissant qui peut bloquer la fixation de l'oxygène par les globules rouges, est émis lors de la combustion incomplète d'hydrocarbures : « Lors de sa combustion, le carbone est d'abord oxydé en gaz carbonique (CO₂), si l'on ajoute à cette molécule un nouvel atome de carbone, dans certaines conditions de température et de pression, il y a formation de deux monoxydes de carbone (CO). S'il y a suffisamment d'oxygène en présence, le monoxyde s'oxyde à nouveau en dioxyde de carbone. Si un carburateur est mal réglé, le manque de carburant (oxygène) donne lieu à la production et l'émission de gaz d'échappement plus riche en CO » (**Schutz, 1995**), c'est-à-dire que le CO₂ est émis essentiellement lorsque cette combustion est incomplète.

Selon des études: «Le pot catalytique permet, entre autres choses, l'oxydation du monoxyde de carbone toxique en gaz carbonique, beaucoup moins dangereux» (**Schutz, 1995**).

La diffusion du CO₂ est très rapide. Il disparaît rapidement dès que l'on s'éloigne d'une source d'émission, cela tient au fait que le CO a une densité voisine à celle de l'air (**Escourrou, 1996**).

II-4-2- Les oxydes d'azote NO_x :

L'azote (N) et l'oxygène (O) entrent en réaction dans les conditions de haute température et de pression des moteurs pour former du monoxyde d'azote (NO)

(**Schutz, 1995**). Une fois rejeté dans l'atmosphère, NO s'oxyde pour former du dioxyde d'azote (NO₂) (**Parmentier et Garrec, 1994**). NO est le plus abondant dans l'atmosphère : il représente ≈95% des émissions (**Degobert, 1992**). L'azote (N) et l'oxygène (O) peuvent

s'associer sous différentes formes : N_2O (protoxyde d'azote), N_2O_3 , N_2O_5 , (HNO_3) (acide nitrique), émis directement par les véhicules diesel (**Malbreil, 1997**).

Ces diverses associations sont désignées par le terme «oxydes d'azote» (NO_x). Le protoxyde d'azote (NO_x) est engendré par l'azote présent initialement dans la combustion ; peu actif dans la troposphère, c'est un agent actif d'attaque de la couche d'ozone stratosphérique.

II-4-3- Les Composés Organiques Volatiles (COV) :

Les composés organiques sont constitués par le carbone et ses combinaisons ; parmi eux ; les hydrocarbures sont des composés binaires constitués de carbone et d'hydrogène.

Les COV sont émis :

-Par évaporation à la pompe, au niveau de la carburation et du réservoir (provoqué par les variations de température marche/arrêt du moteur ou jour/nuit ; ce sont des pertes par respiration), par perte (éclaboussures à la pompe ou au niveau du réservoir) ; dans les gaz d'échappement (**Degobert, 1992**).

-La composition spécifique des émissions de COV, qu'elles soient produites par combustion ou évaporation, varie très fortement en fonction des carburants et de leurs additifs. C'est pour quoi les véhicules à essence et diesel donnent différents spectres d'émission.

Ce pendant, les émissions totales de COV sont équivalentes car, si les véhicules diesel émettent beaucoup moins de COV par Kilomètre, leurs rejets contiennent une forte concentration des COV les plus réactifs (composés aromatiques, aldéhydes et oléofines) qui fait que les moteurs diesel contribuent de manière beaucoup plus importante à la formation d'ozone (**OCDE, 1995**).

Les concentrations de COV sous forme gazeuse sont généralement 10 à 100 fois supérieures aux concentrations de COV sous forme de particules (**OCDE, 1995**).

II-4-4- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) :

Les HAP, dangereux pour la santé car cancérogènes, sont des hydrocarbures aromatiques constitués de plusieurs cycles benzéniques accolés selon diverses formes. La majorité des HAP proviennent des processus de pyrolyse et en particulier de la combustion incomplète de matière organique ou de composés carbonés (**Degobert, 1992**).

Les HAP sont la plus part du temps adsorbés sur les particules carbonées. Ils sont également détectés en phase gazeuse, en particulier dans les gaz d'échappement des moteurs à essence ; il s'agit (dans ce cas) des HAP de masse moléculaire la plus faible (jusqu'à 3 cycles), qu'on appelle HAP légères (**Degobert, 1992**).

Parmi, les HAP, le Benzo(a)pyrène (Bap) est le plus étudié des HAP car il est particulièrement dangereux pour la santé il est émis pratiquement au même taux par un véhicule essence ou diesel (**Degobert, 1992**).

II-4-5- Ozone :

« L'ozone et les autres oxydants photochimiques ne sont pas émis directement par les véhicules mais ils dérivent pour une bonne part- difficile à quantifier des polluants primaires présents dans les gaz d'échappement ».

Les rayonnements solaire (UV), entraînent une dissociation du dioxyde d'azote (NO_2) qui forme un monoxyde d'azote (NO) et libère un atome d'oxygène qui associe dès que possible avec l'oxygène (O_2) pour former l'ozone (O_3) (**Schutz, 1995**).

La concentration d'ozone est en relation directe avec l'ensoleillement (UV). Les concentrations sont donc les plus importantes en période estivale (Mai à Septembre) et l'après-midi. Pendant la nuit, la production est stoppée et l'ozone produit dans la journée est piégé par la végétation où détruit (**Malbreil, 1997**).

On observe au bord des (auto) routes, des dépressions locales d'ozone dues essentiellement à l'émission en NO_x par les véhicules, qui détruit les molécules d' O_3 , ce qui explique que les concentrations maxima se rencontrent à la périphérie des villes (**Garrec, 1996**).

II-4-6- Les métaux lourds :

Les métaux lourds sont issus des combustions car on les trouve, à l'état de traces, dans le charbon et le fioul. Ils se retrouvent dans les cendres et dans les cheminées.

On ne peut pas encore faire de mesure en continu, on prélève donc des échantillons de gaz et de poussières et on les analyse.

Les mesures des métaux lourds sont des opérations délicates à mener, d'autant plus que le nombre d'éléments est grand et qu'ils sont présents le plus souvent à l'état de traces. Les méthodes de mesure sont très variées et ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients, le choix de l'une d'elles dépendra de l'exploitation que l'on désire faire du résultat.

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser.

D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme :

- tout métal ayant une densité supérieure à 5 ;
- tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium (>11) ;
- tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques.

Les sources d'émissions d'éléments Traces Métalliques (ETM), sont multiples : l'industrie, le chauffage, les transports mais également les pratiques agricoles, les boues et les composts urbains et l'altération de la roche mère.

La circulation automobile et les infrastructures routières constituent aussi des sources d'ETM mais la pollution par les ETM ne représente qu'une fraction de la pollution chronique provenant des véhicules en circulation et de l'usure des équipements de la route.

II-4-6-1- Origines naturelles et humaines des métaux lourds dans l'environnement :

Une quantité importante de métaux lourds est introduite dans l'environnement par l'intermédiaire de sources naturelles et humaines. Cette contamination a plusieurs origines

telles que la combustion de fossiles, les gaz d'échappement des véhicules, l'incinération, l'activité minière, l'agriculture et les déchets liquides et solides. Mais elle peut également être d'origine naturelle via les volcans, l'activité des sources thermales, l'érosion, l'infiltration, etc. Le tableau suivant (tiré d'une étude de Di Benedetto) montre le rapport entre le flux lié à l'activité humaine et le flux naturel. D'autre part, le cadmium, l'arsenic, et surtout le mercure et le plomb sont introduits dans l'environnement, de façon quasi exclusive par l'homme (tableau n°02).

**Tableau n°02 : Rapport entre le flux lié à l'activité humaine et le flux naturel
(Source : Di Benedetto, 1997).**

Elément	Flux lié à l'homme/flux naturel %
Chrome	161
Cadmium	1 897
Arsenic	2 786
Mercure	27 500
Plomb	34 583

II-4-6-2- Identification des principales sources des éléments traces métalliques :

Le trafic routier, la corrosion des véhicules ou des infrastructures routières sont à l'origine d'une contamination de l'environnement par des éléments traces métalliques tels que le plomb, zinc, et cuivre.

A la différence de la plupart des contaminants organiques, les ETM sont des substances non biodégradables et potentiellement toxiques. L'estimation des émissions en polluants et de leurs répartitions dans les différents compartiments de l'environnement a fait l'objet de différentes études récentes (**Pagotto, 1999**).

Ils peuvent se disperser dans l'atmosphère puis éventuellement retomber par voie sèche ou humide sur les sols en bordure de chaussée. Ils sont aussi susceptibles de se déposer sur la chaussée puis d'être entraînés par le ruissellement des eaux pluviales.

Le trafic et les infrastructures routières constituent une source importante de métaux lourds rejetés dans l'environnement (**Delmas-Gadras, 2000**). Les principaux polluants métalliques émis, le plomb, le zinc et le cadmium sont principalement présents dans les gaz d'échappement 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 et Paul, 1998**).

Des études ont pu évaluer les flux de métaux lourds provenant de la corrosion des barrières de sécurité galvanisées soit, pour un kilomètre : 1 045 g/an de zinc, 2,1 g/an de plomb, 0,23 g/an de cuivre et 0,16 g/an de cadmium. Les freins constituent une importante source de cuivre. Ces polluants s'accumulent dans les écosystèmes et, au-delà de certains seuils, ils deviennent toxiques. Le Tableau n° 3 indique les flux de polluants liés à ces matériaux solides (**Pagotto, 1999**).

Tableau n°03: Estimation des émissions polluantes (les chiffres sont exprimés en (g/an) pour 1 km de route, 12 000 véhicules/jour et une chaussée à deux voies)
(Source : Pagotto, 1999).

polluants	véhicules			infrastructure		entretien	total
	Pneumatique	Garniture de frein	Echappement	Chaussée	Glissières	Sol de déverglaçage	
Plomb	2,6	438	7 227	0,01	2,0	8,5	7 678
Zinc	3 798	2 462	48,6	1,5	978	1,3	7 289
Cuivre	0,7	16 080	19,9	1,4	0,2	3,4	16 106
chrome	0,2	18,4	1,5	4,3	-	-	24,4

Le carburant est la principale source en plomb, cela s'explique par l'ajout de dérivés alkylés du plomb (tétra éthyle et tétra méthyle de plomb) comme anti détonnant dans les carburants (Alloway, 1995).

Le zinc est très présent dans les huiles à moteur ou les lubrifiants, dans lequel il est ajouté comme antioxydant (Falahi et Ardakani, 1984). Il est également présent dans le fluide de transmission (tableau n°04).

Tableau n°04 : Teneurs en métaux traces de divers fluides (Source : Shaheen, 1975)

Type de fluide	plomb	zinc
Huile moteur (μ /g)	9	1060
Graisse lubrification (μ /g)	0	164
Antigel (μ g/g)	6	14
Fluide pour les freins (μ g/g)	7	15
Fluide de transmission (μ g/g)	8	244
Essence (mg/l)	501	7,5
Gazole (mg/l)	9,1	9,1

II-4-6-3- Généralités sur les métaux lourds considérés dans cette étude (Pb, Zn) :

II-4-6-3-1- le plomb :

II-4-6-3-1-1- Propriétés fondamentales :

Le plomb existe sous trois formes essentielles : le plomb dissous, le plomb colloïdal et le plomb particulaire :

- Sous forme dissoute, les espèces dominantes dans l'eau sont $PbCO_3$, $PbCl_2$ ou $PbCl^+$. Cette répartition ne prend pas en compte la matière organique dissoute et

le fait que le plomb, dans l'eau se trouverait essentiellement sous forme de complexes organiques. De même que pour le mercure, le Plomb peut être

- méthylé par les bactéries dans les sédiments, mais ce phénomène revêt une moindre importance.
- aussi le plomb présente une forte affinité pour la matière particulaire. A peine 10% du plomb se trouve sous cette forme dans l'eau. L'absorption du plomb sur la matière particulaire est fonction du PH et augmente avec ce dernier (**Chiffoleau et al, 2003**).

II-4-6-3-1-2- Cycle et sources naturelles et anthropiques :

Dans l'air, les émissions de plomb provenant de poussières volcaniques véhiculées par le vent sont reconnues d'importance mineure. Les rejets atmosphériques sont principalement anthropiques. De nombreux auteurs ont mis en évidence une augmentation d'un facteur 20, au cours des deux derniers siècles, des concentrations en plomb dans les glaces polaires ayant intégré les retombées atmosphérique (**Murozumi et al, 1969**).

Cette augmentation est en relation avec l'accroissement des émissions anthropiques. Les apports de plomb se font majoritairement par voie atmosphériques, la source principale étant encore à l'heure actuelle la combustion des carburants automobiles. Les teneurs dans les eaux côtières sont à peine plus élevées qu'en zone océanique à cause de l'ampleur de l'enlèvement dans les zones où les concentrations en matières en suspensions sont fortes. Dans les sédiments, le plomb peut être remis en solution par dégradation aérobie de la matière organique particulaire à laquelle il est associé. Cette solubilisation s'observe aussi en surface par dissolution des oxydes de fer et de manganèse (**Marchand et Kantin, 1997**).

II-4-6-3-2- Le zinc :

II-4-6-3-2-1- Propriétés fondamentales :

Le zinc est indispensable au métabolisme des êtres vivants (oligo-éléments) ; en particulier comme coenzyme. Il existe dans l'eau de mer sous diverses formes : ions hydratés ($Zn(H_2O)^{2+n}$), zinc complexé par les ligands organiques (acides fulviques et humiques) et zinc adsorbé sur de la matière solide.

II-4-6-3-2-2- Cycle et sources naturelles et anthropiques :

Le zinc principalement sous forme de sulfure (blende) est assez uniformément distribué dans les roches magmatiques, et les schistes alors qu'il est plus faible dans les roches mères sableuses. Il entre naturellement dans l'atmosphère à partir du transport par le vent de particules du sol, des éruptions volcaniques, des feux de forêts et d'émission d'aérosols.

Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement résultent des sources minières industrielles (traitement de minerai, galvanisation du fer, raffinage, gouttières de toitures, piles électriques, ...), des épandages agricoles (alimentation des animaux, lisiers) et des activités urbaines (trafic routier, incinération des ordures).

II-4-7- Autres métaux :

Magnésium, aluminium, fer, chrome, (usure des roches et des sols), molybdène (lubrifiant) ; baryum, cobalt (huiles de graissage), sélénium (lubrifiant, plaquettes de frein) ; arsenic, (garnitures de frein, disques d'embrayage, transmission automatique, etc.) **(Parmentier et Garrec, 1994).**

II-4-8- Les particules :

Les principaux composés des particules sont :

- Des éléments minéraux liés à l'érosion de la chaussée et des sols ;
- La remise en suspension de particules déposées au sol ;
- Des noyaux carbonés (issus de composés organiques produits lors des combustions incomplètes) ;
- Des sulfates SO_2 ou des nitrates NO_3 , résultants des transformations de SO_2 ou NO_x ;
- Des ions métalliques adsorbés ou condensés à la surface des particules ;
- Des sels d'ammonium produits par la neutralisation des aérosols acides par l'ammonium présent dans l'air du fait de l'activité biologique **(SFSP, 1996).**

Les particules sont classées selon leur taille ; les particules ayant un diamètre inférieur à $10\mu\text{m}$ sont désignées par le terme PM_{10} , diamètre inférieur à $2,5\mu\text{m}$: PM_2 , 5...etc.

Les poussières libérées dans l'atmosphère participent à divers processus :

Dépôt sur le sol et la végétation ;

- Formation d'aérosol, Catalyseurs de réactions chimiques ;
- D'un point de vue biologique et sanitaire, ce sont les particules les plus fines qui sont les plus préoccupantes ; or les particules émises par les pots d'échappement sont de très petites tailles (notamment pour les particules diesel qui sont responsables de 87% des particules émises par le trafic) **(SFSEP, 1996).**

A titre comparatif le tableau n° 05 indique la composition moyenne des gaz d'échappements de véhicules légers à moteur essence et d'autres à diesel.

Tableau n°05: Composition moyenne des gaz d'échappement pour un véhicule légère essence et diesel (**Source : Pagotto, 1999**).

Constituant	Moteur essence	<i>Moteur diesel</i>
Oxygène (en %)	1-17	1-20
Azote (en %)	75-80	75-80
Hydrogène (en %)	0-6	0-2,5
Eau (en %)	12-14	12-14
Dioxyde de carbone (en %)	0,7-15	1-14
Monoxyde de carbone (en %)	0,2-10	0-1
Hydrocarbures (en ppm)	100-1000	0-500
Aldéhydes (en ppm)	40-300	0-30
Oxyde d'azote (en ppm)	100-2 000	100-1 500
Plomb (en % du plomb de l'essence)	70-80	Faible
Anhydride sulfureux (en ppm)	0,80	100-200
Particules	0,2-0,3 mg.g-1 d'essence	150-450 ppm

II-4-8-1- Les particules diesel :

Les particules diesel présentes dans l'atmosphère sont très petite taille, inférieure au micron (figure n°07). Leur composition et leur granulométrie ne sont pas parfaitement connues. Leur composition est schématiquement décrite comme un squelette de carbone recouvert d'une phase organique composée principalement d'imbrûlés provenant du carburant et du lubrifiant. Cette phase imbrûlée comprend plusieurs centaines de composés avec, notamment, des HAP. Ces particules diesel, de très petite taille (diamètre aérodynamique moyen de 0,5µm) constituent aujourd'hui la plus grande part des poussières en suspension en milieu urbain. C'est-à-dire que, de par la diminution qui a pu être observée, depuis 20 ans, des valeurs d'émissions (teneurs atmosphères), des particules (mesurées alors par la technique des fumées noires). La nature des particules a aussi évolué. Tout laisse à penser que les particules présentes aujourd'hui dans l'air urbain présentent, par leur taille et leur composition chimique, une nocivité plus marquée que celles qui étaient historiquement associées aux processus de combustion industriels et du chauffage résidentiel traditionnel (**SFSP, 1996**).

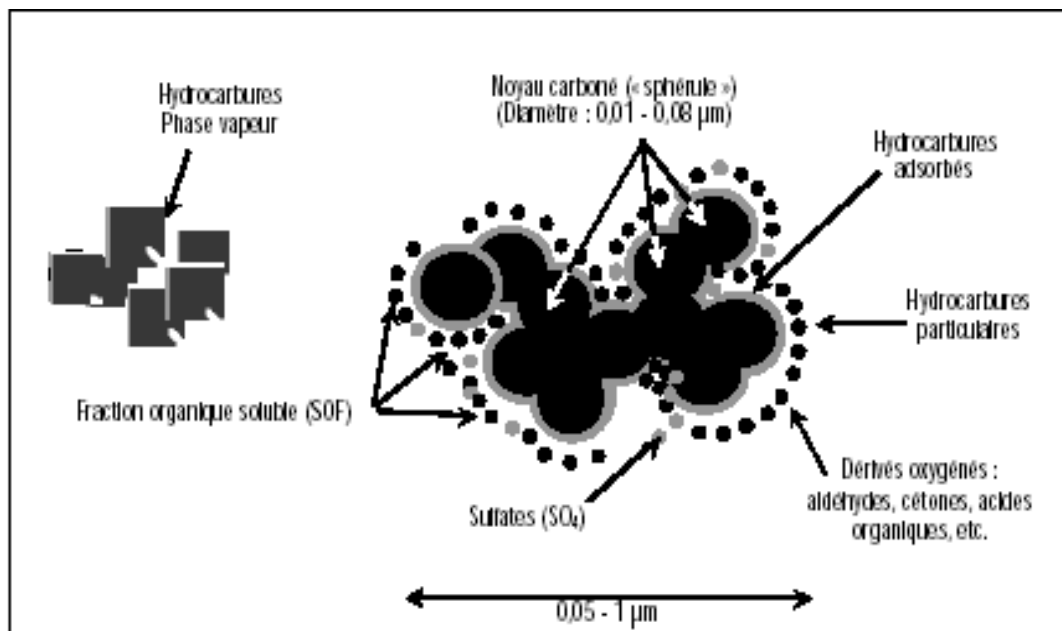


Figure n°07 : Schéma des particules diesel (Source : Institutes (HEI), SFSP, 1996).

II-4-8-2- Les particules minérales :

Le passage des véhicules use la chaussée et met en suspension des particules de quartz (phénomène accru lors de l'utilisation de pneus cloutés) (Degobert, 1992).

L'amiante était jusqu'à peu utilisé dans la fabrication des voitures, notamment pour les garnitures de friction (freins et embrayages) et des transmissions automatiques. L'usure de ces éléments provoque le rejet de particules d'amiante (Degobert, 1992 ; OCDE, 1995 ; Malbreil, 1997) très toxique, dans l'état actuel des connaissances, seul un seuil de 0 est sécuritaire. Des oxydes métalliques sont présents dans les gaz d'échappement mais ne sont pas liés à la combustion : ils proviennent de l'usure du moteur ou des systèmes de dépollution (Barbusse, 1996).

II-5- Facteurs influençant l'émission des polluants :

Les quantités des polluants rejetées par chaque véhicule sont appelées « émissions unitaires ». Ces émissions sont la résultante de la superposition de toute une série de variables.

II-5-1- Facteurs liés aux véhicules :

Les caractéristiques du véhicule ont une grande influence sur les émissions unitaires :

II-5-1-1- Les types de véhicule :

Il existe des classifications très détaillées des divers véhicules (notamment pour les poids lourds), mais on peut distinguer les catégories suivantes :

- Véhicule particulier (VP) ;
- Véhicule utilitaire (VU) ;
- Poids lourds (PL) ;
- Deux roues ;

Bien entendu, plus les véhicules sont lourds, plus les besoins énergétiques sont élevés, plus la consommation de carburant augmente et plus les émissions sont importantes (tableau n° 06). On note également le rôle de la cylindrée des véhicules pour certains polluants (INRETS, 1990).

L'émission de polluants de certains deux-roues (ou trois-roues) de petite cylindrée peut atteindre un niveau plus élevé que celui des voitures (CO, HC + NOx) (ACADEMIE DES SCIENCES, 1996).

Tableau n°06: Influence de la masse des véhicules utilitaires sur les émissions à l'échappement et les consommations unitaires (Source : Pagotto, 1999).

(en g.km-1)	Parcours	Hydrocarbures	Consommation
Diesel 3,5-15 t	Urbain	2,6	218
	Routier	0,8	210
	Autoroutier	0,8	210
Diesel >15t	Urbain	5,8	269
	Routier	3	377
	Autoroutier	2,4	310

II-5-1-2- Variations entre les carburants et les diverses technologies :

II-5-1-2-1- Les carburants :

Etant donné leur très faible part dans le parc des véhicules en circulation, nous ne nous attarderons pas sur les carburants des substitutions ou carburants alternatifs : GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié), GNV (Gaz Naturel pour Véhicules), gaz « de récupération », carburants « Verts », de biomasse «biocarburants », électricité, autres carburants (hydrogène, essences de synthèse) (Birraux, 1995)... Ces carburants font partie des mesures possibles pour réduire la pollution automobile.

II-5-1-2-2- Comparaison moteur à essence/moteur diesel et systèmes de dépollution associés :

Les véhicules à essence et les véhicules diesel rejettent à peu près les mêmes polluants, mais dans des proportions différentes : les véhicules diesel légers émettent nettement moins de polluants gazeux primaires que les véhicules à essence, particulièrement pour le CO, les HC et, à froid, pour les HAP. La pollution du diesel est d'une autre nature (INRETS, 1990) : particule, NOx, et pollution acide soufrée (ACADEMIE DES SCIENCES, 1996) car les normes sont moins contraignantes pour le gazole que pour l'essence.

Sur les véhicules à essence, l'utilisation d'un pot catalytique permet de réduire les émissions de certains polluants, notamment avec les pots catalytiques 3 voies montés sur les véhicules récents (ACADEMIE DES SCIENCES, 1996). Il faut cependant savoir que :

1. le pot catalytique entraîne une surconsommation de 5 % environ (SFSP, 1996).

2. le pot catalytique ne fonctionne efficacement que lorsque le moteur est chaud ; et c'est vrai surtout en ville où les trajets sont courts.

Pour faire face à ce problème, certains véhicules récents sont équipés d'un « petit catalyseur annexe, dit « catalyseur allumette », placé en sortie du moteur et qui monte en régime très rapidement ; des catalyseurs à chauffage électrique au départ sont également proposés».

Pour les véhicules diesel, un système de dépollution, dit « pot d'oxydation », permet de réduire considérablement les émissions d'HC et les mauvaises odeurs ; ces systèmes sont déjà montés en série dans certains pays européens (**ACADEMIE DES SCIENCES, 1996**). Pour les particules et les NOx, on ne dispose pas encore de dispositif d'élimination simple et efficace.

II-5-1-2-3- Etat et entretien du véhicule :

L'âge du véhicule est un facteur très important : en France, les voitures de plus de 10 ans représentent 18% du parc, 12 % du kilométrage mais 40 à 60 % des émissions polluantes (**OCDE, 1997**); selon d'autres sources, 20 % du parc est responsable de 80 % de la pollution (**ACADEMIE DES SCIENCES, 1996**). L'entretien des véhicules joue également pour une bonne part dans les rejets : on estime que 1 voiture sur 3 est mal réglée ; dans le pire des cas, « un moteur mal entretenu peut produire jusqu'à 10 ou 15 fois plus de particules et de HC qu'un moteur correctement entretenu » Ce réglage tient essentiellement à deux points : la composition du mélange air/carburant et le réglage du point d'allumage. S'il y a manque l'oxygène, la combustion est incomplète et le moteur rejette de grande quantité de CO et d'HC, mais un réglage optimum des rejets de CO et HC entraîne l'augmentation de la température du moteur et provoque une hausse des émissions de NOx. S'il y a trop d'oxygène par rapport au carburant, les taux de HC augmentent en raison de combustion plus difficile.

II-5-1-2-4- Niveau de chargement et aérodynamisme :

Un véhicule chargé (ou dont l'aérodynamisme est réduit : galerie sur le toit, fenêtres ouvertes, etc.) émet une plus grande quantité de polluant puisque son moteur doit développer, pour atteindre une vitesse donnée, plus de puissance (d'où hausse de la consommation de carburant) que lorsque le véhicule est vide ou plus aérodynamique.

II-5-2- Facteurs liés aux conducteurs :

Il s'agit essentiellement du style de conduite. Un véhicule conduit de manière dite « agressive ou performante » (forte augmentation des rapports entre les vitesses, accélération, freinage, vitesse volontairement élevés) émettra une quantité de polluants supérieure au même véhicule conduit de manière normale « normale ou économique ». Les écarts entre les deux styles de conduite sont significatifs dans la plupart des cas. Et se fait essentiellement dans la montée en vitesse (**Pillot, 1997**).

Ce facteur « style de conduite » est important car d'une part les variations engendrées sont loin d'être négligeables, et d'autre part parce qu'il s'agit d'un des rares facteurs humains (avec l'accroissement général de l'utilisation des véhicules particuliers) qui intervienne directement sur les émissions. Le style de conduite, bien que propre à chacun, semble

cependant avant tout lié à la culture du pays, il s'agit donc d'un facteur sur lequel la société peut agir.

II-5-3- Facteurs liés aux conditions de circulation :

Les émissions varient énormément selon les conditions de circulation : urbain lent, urbain fluide, route, autoroute, etc. en effet, les phases d'accélération et de décélération, la durée des arrêts feux (moteur au ralenti) ont un grand effet sur les niveaux d'émissions. Or, la vitesse est le paramètre essentiel des émissions bien que le style de conduite qu'on évoquera plus loin joue également mais dans une moindre mesure : dans des trafics urbains congestionnés, les émissions de HC, de CO, de CO₂, de NO_x sont essentiellement le fait des véhicules diesel tandis que les émissions de NO_x des véhicules à essence sont moins influencées par les conditions de circulation tout en étant près de deux fois plus élevées sur autoroute rapide qu'en circulation urbaine très congestionnée. Ainsi, les faibles vitesses comme les vitesses rapides sur autoroute contribuent à l'augmentation des émissions. Enfin, les émissions sont bien plus importantes lorsque le véhicule est froid (démarrage) (**INRETS, 1990**).

II-5-4- Facteurs liés à la route :

La route sur laquelle se déplace un véhicule influence elle aussi les émissions de ce dernier. Deux paramètres sont à prendre en compte : l'altitude et la pente. Les voitures sont réglées pour que les émissions soient minimales au niveau de la mer ; elles augmentent conséquemment avec l'altitude : elles émettaient 4 fois plus de CO à 2500m (**Mazoue et SETRA , 1994**).

La pente, qui va souvent de pair avec les hautes altitudes, aggrave le niveau d'émission des véhicules : comme le poids ou la limitation de l'aérodynamisme, la pente oblige le moteur à développer plus de puissance, donc sa consommation et finalement, à rejeter plus de polluants. La pente entraîne donc une augmentation considérable des émissions (**Joumard et al, 1995**), surtout pour les PL et lorsque la pente est >4% (**INRETS, 1990**).

II-5-5- Facteurs climatiques :

Lors du démarrage à froid, et tant que le moteur n'a pas atteint 70°C (**DEGOBERT, 1992**), les émissions sont plus importantes. La température de l'air joue donc un rôle puisqu'elle conditionne la durée qu'il faudra au moteur pour atteindre cette température. Le temps de chauffe sera d'autant plus long que la température ambiante est basse. Aux émissions de polluants supérieures en hiver, s'ajoute le dépôt de nombreux polluant gazeux sous l'effet du faible ensoleillement et des basses températures (**Lumis, 1973 ; Marklund et al, 1990**).

Le vent, en ralentissant ou en facilitant le déplacement des véhicules constitue un autre paramètre influençant les émissions. Pour finir, l'ensoleillement ne joue pas de rôle sur les émissions directes des véhicules, mais les rayonnements UV sont les déclencheurs de la chimie atmosphérique à l'origine de la formation de polluants secondaires, l'ozone essentiellement (**Pillot, 1997**).

CHAPITRE III

**BIOSURVEILLANCE DE LA
QUALITE DE L'AIR A L'AIDE
DE LICHENS**

La surveillance de la qualité de l'air consiste à mesurer systématiquement les polluants de l'air ambiant pour pouvoir déterminer l'exposition des récepteurs vulnérables (populations, animaux, végétaux) sur la base des normes et directives découlant des effets observés et identifier la source de la pollution atmosphérique.

Les concentrations de polluants dans l'air ambiant sont influencées par la variation dans l'espace ou dans le temps des émissions de substances dangereuses et par la dynamique de leur dispersion dans l'air.

On observe donc des variations journalières et annuelles marquées des concentrations. Il est pratiquement impossible de déterminer de façon unifiée toutes ces variations de la qualité de l'air (**Hans et Bruckmann, 2004**).

III-1- Relation entre les plantes et les métaux lourds :

La teneur d'un sol en métaux lourds est une donnée relativement accessoire si ce n'est pour déterminer le danger global (concentration maximale mobilisable).

L'important est de déterminer la fraction bio disponible, c'est-à-dire la partie accessible au végétal ou à la mobilisation vers les ressources en eau. La biodisponibilité est l'aptitude d'un élément trace à être transférée à la plante (**Ozenda, 1982**).

Les éléments traces sont absorbés par les racines, et y demeurent le plus souvent. Le passage dans les parties aériennes (tiges, feuilles) varient selon les métaux et sont les signes d'un accroissement de la concentration des métaux dans le sol, le plomb reste dans les racines. Le cadmium passe plus facilement dans les parties aériennes. Les études de ces phénomènes sont encore peu avancées et semblent pourtant prometteuses. Les plantes offrent deux opportunités :

- d'une part, les plantes sont d'excellents bio indicateurs soit pour observer la nature des polluants, soit pour analyser l'origine des polluants (les lichens, par exemple, n'ont pas d'accès au sol : les contaminations de lichen ne peuvent donc venir que de pollutions atmosphériques), soit pour suivre l'évolution d'une contamination (avec le passage des traces dans les racines aux traces dans les parties aériennes). Ces caractéristiques ne sont pas propres aux plantes. Les invertébrés sont également d'excellents indicateurs pour certains métaux (les gastéropodes par exemple disparaissent avec le zinc tandis que les coléoptères survivent très bien...). Ces données peuvent servir d'indicateurs de « bio surveillance », notamment des zones à risques.

- d'autre part, les plantes peuvent avoir un rôle stabilisant, voire curatif. Sans négliger l'atout esthétique, les plantes évitent surtout les envols de poussière et peuvent servir à végétalisés les sites pollués, sous réserve que la pollution ne soit pas excessive, et concerne certains métaux (zinc, cadmium par exemple. On ne connaît pas de plante accumulant le plomb ou le mercure...). Ce type d'action porte le nom de «phytoremediation» (**Madany et al, 1990**).

III-2- L'analyse des transferts :

L'analyse des transferts de métaux lourds vers les plantes est très complexe et demande un examen extrêmement fin. Il y a plusieurs stades d'analyse :

III-2-1- La connaissance générale :

L'aptitude à l'accumulation dépend des espèces et de la variété. En général, les plantes à croissance rapide accumulent les métaux, notamment le cadmium, le zinc et le cuivre. Les plantes accumulent très peu du plomb par les sols et les traces de plomb que l'on retrouve sur les plantes émanent en général d'une source atmosphérique.

III-2-2- L'application pratique :

Bien souvent, cette connaissance générale suffit à éliminer certaines cultures (en interdisant l'épandage de boues sur des terrains destinés à certaines cultures maraîchères par exemple) mais ne suffit pas à déterminer avec certitude les plantes peu accumulatrices qui peuvent parfaitement être cultivées sur des sols relativement chargés en métaux lourds. L'application pratique demande un degré de précision supplémentaire. Cette précision ne fait que compliquer l'analyse (Sharma, 1987).

III-2-3- Procédé de phytoremédiation :

La phytoremédiation est un procédé simple et écologique de décontamination des sols par les plantes. Certaines plantes hyper accumulatrices ont la propriété d'extraire les métaux lourds d'un sol contaminé et de les transporter dans leur feuillage où elles les entreposent. Il est bien sûr plus facile de faucher les plantes qui croissent sur les sols pollués que d'en arracher chaque racine. Des biologistes de l'université de Californie à San Diego ont démontré qu'un composé chimique qui empêche les végétaux de s'empoisonner en neutralisant le métal est aussi un moyen de transport. Il voyage dans la plante pour conduire les éléments toxiques des racines vers les feuilles. Lorsque les racines de la plante ont prélevé le métal, il est détoxifié grâce à un phytochélateur. C'est un composé chimique, ici d'origine végétale, qui sert à fixer ce métal. Le chélateur emprisonne l'élément toxique et le place en quarantaine dans la vacuole d'une cellule végétale afin qu'il n'en perturbe pas le fonctionnement. Par la suite les phytochélateurs se déplacent des racines vers le feuillage. On trouve des phytochélateurs dans la plupart des plantes (Guderian et al, 1985).

Comprendre leur fonctionnement permettra de les utiliser pour augmenter les taux de métaux lourds dans la biomasse des végétaux. On peut alors incinérer les plantes coupées et récupérer les bios minerais concentrés pour les réinjecter dans le processus de production industrielle. Le processus prend quelques années, certaines plantes accumulent près de 1 % de leurs poids sec en métaux lourds ou produits pétroliers. Plusieurs récoltes sont donc nécessaires avant d'assainir les sols et de les réutiliser. Toutefois, cette technique n'est pas encore en mesure de traiter les sols contaminés en profondeur.

III-3- Mode de contamination des végétaux :

III-3-1- Par voie aérienne :

Après avoir traversé l'atmosphère et une couche d'air stable au voisinage du couvert végétal appelée couche limite, les polluants atteignent les feuilles. Les polluants gazeux, comme les NO_x, l'ozone, le SO₂ pénètrent par les stomates qui sont les sites des échanges gazeux des plantes vertes. Cette barrière franchie, ils accèdent à l'atmosphère interne de la feuille par la chambre sous stomatique depuis laquelle ils se répandent dans les méats intercellulaires et les tissus internes de la feuille.

Des études ont montré que des particules de plomb très fines pouvaient pénétrer dans les stomates (figure n°08), mais il est improbable que de grandes quantités de plomb pénètrent de cette manière et ce processus ne peut être responsable que d'une faible part de la contamination des feuilles par le plomb (Arvik et Zimdahl, 1974).

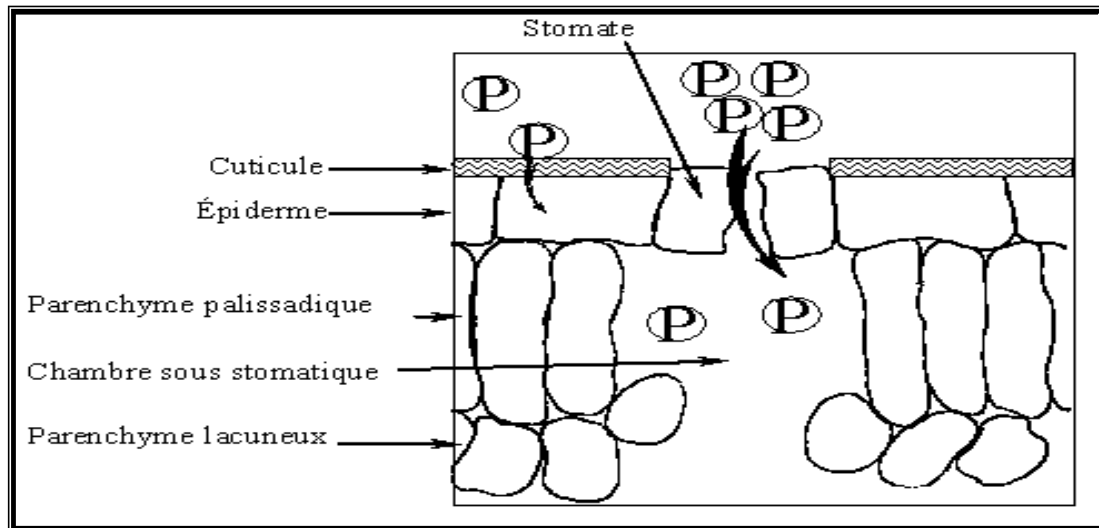


Figure n°08 : Coupe transversale d'une feuille montrant les différentes voies d'entrées des polluants dans les feuilles (Source :Arvik et Zimdahl, 1974).

Les poussières, contenant les métaux lourds, s'accumulent sur les parties aériennes, particulièrement les feuilles, par le processus d'interception-déposition. Ce dépôt de surface des feuilles peut être qualifié de "pollution latente" car la cuticule est considérée comme une barrière imperméable qui s'oppose à la pénétration dans les feuilles. Le dépôt peut, cependant, éventuellement pénétrer dans la plante, après sa dissolution qui va dépendre de l'intensité des épisodes humides et de leur acidité. Ainsi, la cuticule peut laisser passer des éléments comme le cobalt, le cuivre ou le manganèse.

Quand les feuilles vieillissent, l'efficacité de cette barrière est altérée, il apparaît des microfissures et des polluants qui restent normalement en surface peuvent facilement pénétrer (Chamberlain, 1983) constate que des feuilles mortes accumulent plus de plomb que des feuilles vivantes, probablement à cause d'une dégradation des couches épidermiques qui permettent l'accès du plomb à un niveau interne.

Les particules métalliques déposées à la surface des feuilles ne pénètrent pratiquement pas à l'intérieur et elles peuvent être facilement lavées, soit de façon naturelle par la pluie, soit artificiellement. On considère que le plomb résiduel qui n'a pas été entraîné par un lavage soit par de l'eau, soit par des acides dilués ou soit par des détergents, peut être lié à la cuticule de façon ionique ou s'être accumulé dans les fentes de la cuticule, et ne pas avoir réellement pénétré dans les feuilles (Little, 1978).

Les stomates sont des orifices situés essentiellement sur l'épiderme foliaire des végétaux et qui sont nécessaires pour la respiration, la photosynthèse et la régulation hydrique. C'est donc grâce à ces stomates que les échanges de gaz entre la plante et l'atmosphère ont lieu (figure n°09).

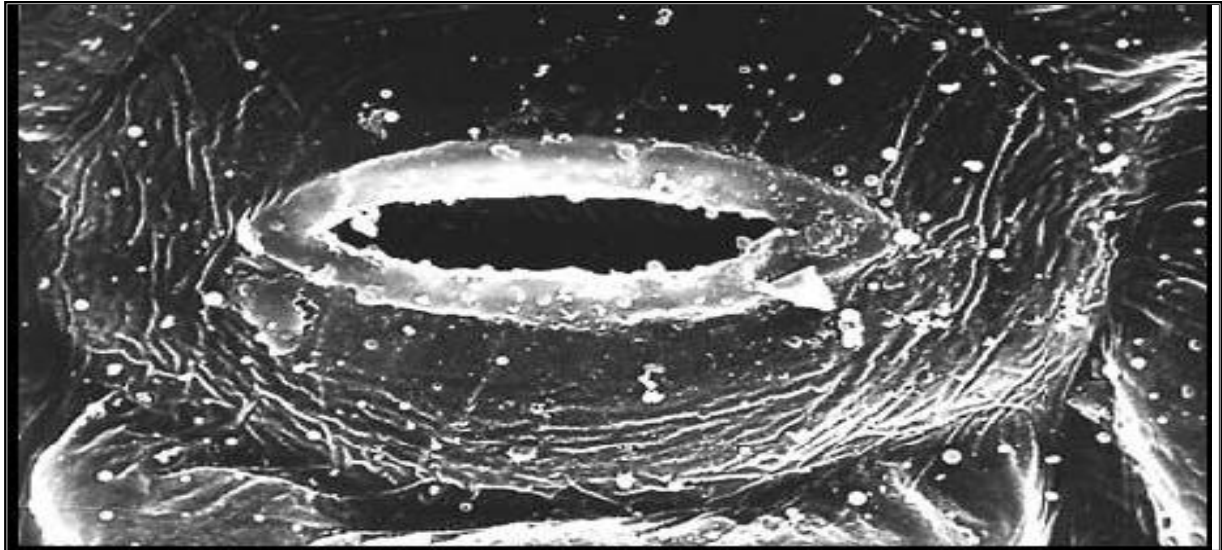


Figure n°09 : Stomate, vue en microscopie électronique à balayage (Source : Cuny, 1990).

Remarque : Les feuilles ne sont pas l'unique point de pénétration des polluants au niveau des parties aériennes (Bushbom, 1968) montre que le bourgeon est aussi un point de pénétration de NaCl dans les plantes. (Hofstra et al, 1979) soulignent que les bourgeons floraux sont encore plus sensibles que les bourgeons végétatifs, (Dimitri ,1981) ajoutent les cicatrices foliaires, les lenticelles, les écorces et les blessures, comme points de pénétration des sels de déneigement.

III-3-2- Par le sol :

La contamination par le sol résulte de la présence des polluants qui ont été dispersés et qui se sont déposés sur le sol. L'absorption de plomb par les racines reste faible. D'autre part, il est généralement accepté que seulement une faible proportion du plomb absorbé par les racines est transportée vers les parties aériennes.

En effet, (Koeppel, 1977) montre que si les racines en contact avec des sols fortement contaminés accumulent de grandes quantités de plomb, la majorité du plomb est liée à la surface des racines et que si le plomb est assimilé, la plus grande partie est immobilisée dans les racines sous la forme d'un complexe plomb-phosphate ou par la liaison aux parois cellulaires.

L'absorption du cadmium par les racines est la voie dominante d'autant que le processus d'absorption de ce métal est très efficace. En règle générale, on peut indiquer que vis à vis de la pollution autoroutière, le sol et les racines jouent un rôle de filtre efficace et que la contamination des végétaux provient avant tout des parties aériennes, qui constituent souvent le début des chaînes alimentaires avec tous les problèmes que cela peut entraîner, en particulier au niveau de la santé humaine.

III-4- Biosurveillance végétale de la pollution atmosphérique :

La biosurveillance végétale se fonde sur des "réponses" spécifiques voire sélectives des végétaux en fonction de doses de pollution ambiante voire de certains polluants présents dans l'atmosphère. La sensibilité spécifique tient du fait que toutes les espèces ou variétés intra-espèces des végétaux ne réagissent pas de la même façon à la pollution ni avec la même

intensité. La réponse sélective face à un cocktail de polluants peut amener à trouver des réponses en lien plus ou moins étroit avec l'un ou l'autre polluant ou indicateur de pollution atmosphérique.

III-4-1- Méthodes de mesure de la pollution atmosphérique :

Pour surveiller la qualité de l'air, des réseaux de capteurs sont couramment utilisés. Ils permettent de faire des mesures physico-chimiques et de donner une valeur numérique, sans pour autant indiquer avec certitude un effet toxique associé à ces valeurs numériques et leurs effets de synergie. La bio surveillance permet de combler cette lacune puisqu'il s'agit de « 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 ».

On distingue deux types de méthodes de détection de la pollution de l'air: Les méthodes physicochimiques et les méthodes biologiques.

III-4-1-1- Méthodes physicochimiques :

La présence simultanée des polluants sous formes gazeuses et particulaires, leurs concentrations sont généralement très faibles dans l'air ambiant ce qui fait que leurs échantillonnages soient compliqués. Car selon les auteurs (**Jackobson et Weistein, 1977 ; OMS 1985**): il importe d'appliquer une méthode de collecte qui permettent de séparer les deux formes quand on s'intéresse à une éventuelle atteinte de la végétation". C'est ainsi que les polluants gazeux comme les métaux sont plus toxiques pour les végétaux.

III-4-1-2- Méthodes Biologiques :

Comme nous l'avons signalé que le végétal peut être un détecteur de pollution. L'impact de la pollution atmosphérique sur la végétation est connu depuis plus d'un siècle. En effet, en 1991 un agronome Anglais (**OLIVER**) avait observé et expérimenté en serre les effets néfastes du smog Londonien sur les plantes, il constate qu'un brouillard dense chargé de substances chimiques rejeté par les cheminées des usines et des immeubles sur la même action sur l'organisme végétale que l'acide sulfurique étendu. En 1900, le Botaniste Breton (**PICQUENARD**) a démontré l'action des fumées sur les développements de la végétation cryptogamiques, les Lichen en particulier. En 1917, (**VANGIN**) publia une étude détaillée sur les dégâts causés aux conifères par l'acide chlorhydrique né de la combinaison des produits chlorés de fumées industriels avec les gouttelettes d'eau du brouillard en haute Savoie (**Lieutaghi, 1972**).

Depuis lors, des recherches dans ce domaine se sont multipliées et des nombreux Laboratoires s'occupent du Dépistage des substances chimiques nocives pour les végétaux dans l'air des villes et des complexes industriels, ainsi plusieurs scientifiques déterminent que les plantes très sensibles réagissant comme de véritable enregistreur de pollution (**Lieutaghi, 1972**), et que les dangers de la pollution peuvent être détectés par les indicateurs biologiques.

Les arbres et les plantes herbacées sont utilisés non seulement pour l'observation des symptômes d'attaque qu'ils manifestent mais encore comme collecteurs de poussière (**Ozenda, 1982**).

III-5- Relation entre les végétaux et la pollution

Les rapports entre les végétaux et les pollutions se présentent sous de nombreux aspects (**Ozenda, 1982**):

- 1- Les végétaux peuvent être à l'origine de la pollution dans la mesure où ils provoquent des allergies dues à l'émission de pollens et spores ;
- 2- Ils peuvent être considérés aussi comme des vecteurs des polluants lorsqu'ils sont consommés par les animaux (fourrage) .a ce moment là, ils peuvent constituer un danger pour ces êtres vivants (**Lieutaghi et OMS 1985**). Les végétaux à leur tour peuvent être "victimes " des pollutions .c'est ainsi qu'un certain nombre d'impuretés atmosphériques émises par les activités industrielles sont toxiques pour les plantes. Ces végétaux peuvent également subir des dégâts dus à une toxicité du sol ou des eaux de plus en plus évidente ;
- 3- De nos jours, on utilise les végétaux pour détecter les faibles niveaux de contamination, et pour en mesurer ou apprécier les niveaux les plus élevés en délimitant les régions atteintes et les zones de pollution décroissante autour des centre d'émissions .on considère de ce fait les végétaux comme des indicateurs de pollution (**Hellal et al, 2011**) ;
- 4- Même si ce domaine est moins connu que les trois sus citent .les végétaux peuvent être utilisé comme des inhibiteurs des pollutions. Ils exercent en effet une action protectrice et régénératrice du milieu ambiant.

III-6- Estimation de la qualité de l'air à l'aide de certaines espèces végétales par les méthodes de Bioindication :

L'objectif de cette partie est de montrer les méthodes utilisées pour estimer la qualité de l'air à l'aide d'indicateurs biologiques. Après avoir défini les termes relatifs à ce genre d'étude, nous verrons comment mettre en ouvre de telles campagnes, en commençant par les bios essais, puis nous verrons comment la bio évaluation se fait par bioaccumulation. Enfin, nous étudierons la détermination d'indicateurs biologiques pour la mesure de la pollution atmosphérique.

III-6-1- Définitions :

III-6-1-1- La Bioindication :

Permet d'estimer la qualité de l'air grâce aux effets relevés sur les végétaux. Ce terme générique regroupe de nombreuses techniques. Ces techniques sont divisées en grandes catégories : au sens strict est une méthode d'observation des effets visibles de la pollution atmosphérique (taches sur les feuilles par exemple, mais aussi la présence ou l'absence d'espèces en fonction de leur toxicotolérance). Cette méthode ne permet pas de quantifier exactement le ou les polluants étudiés, mais permet de déterminer si une étude plus poussée (par analyse dans des bioaccumulateurs ou mesures directes) est nécessaire (**Lorenzini, 1992**)

et si oui, où placer les capteurs. Les végétaux indicateurs ne réagissent généralement pas qu'à un ou des polluants(s), mais à leur environnement (sol, climat, etc.) qu'il faut prendre en compte.

III-6-1-2- Les Bioessais :

Ont pour objectif la détection des polluants et, si possible, la mesure de leurs teneurs (**Blandin, 1986**).

III-6-1-3- La Bioestimation :

Est une mise en relation de la présence d'espèces avec un niveau moyen de pollution (**Van Haluwyn, 1993**).

III-6-1-4- Le Biomonitoring :

Est un suivi dans le temps de l'état de la végétation. On distingue le biomonitoring passif qui est une analyse de l'évolution de la végétation naturelle, du biomonitoring actif où l'on transplante des végétaux élevés dans des conditions standardisées : même sol, irrigation régulière (**Posthumus, 1983 ; ASTA, 1997**).

III-6-1-5- Bioaccumulation :

La bioaccumulation consiste en un dosage de substances contenues dans le végétal étudié, ces substances n'entraînant pas le dépérissement du végétal (**Garrec, 1996**). Des polluants peuvent s'accumuler dans des organismes et atteindre même des concentrations élevées. Chez les végétaux, de nombreux organismes sont utilisés. Il s'agit des champignons, des lichens, des mousses et de certains végétaux supérieurs : aiguilles de résineux, feuilles de caducifoliés, plantes sauvages et cultivées (**Blandin, 1986**). Nous ne traiterons pas des champignons, puisqu'ils permettent d'estimer la pollution dans les sols, et non dans l'air. (**Hale et Lawry 1985**).

III-7- Lichens et Bioaccumulation :

Outre les études menées à l'aide de transplants de lichens (**Deruelle, 1981 ; Hale et Lawry, 1985 ; Semadi et Deruelle, 1993**), il est possible de réaliser des dosages de métaux dans des lichens prélevés dans leur milieu naturel.

Les travaux sur la pollution plombique dans les lichens sont souvent menés en bords de route, mais pas systématiquement. La méthode la plus couramment utilisée est le dosage dans les thalles de lichens prélevés sur le site d'étude.

Parmi les indicateurs végétaux de la pollution atmosphérique, les lichens (constitués d'une symbiose entre une algue et un champignon formant un thalle lichénique) sont les plus connus et principalement les épiphytes (qui poussent sur d'autres végétaux) corticoles (sur les écorces). Ils tirent leur particularité d'une nutrition étroitement liée à l'atmosphère (les rhizines n'ont pratiquement qu'un rôle fixateur) et des propriétés suivantes :

- une activité continue indépendante des saisons,
- un métabolisme lent associé à une grande longévité,
- un grand pouvoir d'accumulation très peu sélectif,
- une absence de moyens de lutte contre la pollution.

Les lichens sont des plantes à thalle constituées d'un amas spongieux. Il s'agit d'une association, à bénéfices réciproques, de deux plantes, une algue présente sous forme de cellules isolées et un champignon qui l'héberge dans son thalle (figure n° 10). C'est une symbiose. Les lichens ont besoin d'un air de bonne qualité car ils ne disposent pas de protection comme les végétaux supérieurs. Leur métabolisme est actif tout au long de l'année, sans répit en hiver. Ils vivent plusieurs dizaines d'années.

Enfin, leur thalle, structure spongieuse et sans protection, les prédispose à accumuler toutes sortes de produits venant de l'extérieur : ce sont des bioaccumulateurs. Tous ces facteurs expliquent que les lichens sont très réceptifs aux modifications de leur environnement immédiat et en particulier très sensibles à la qualité de l'air (tous polluants confondus) (Béguinot, 2010).

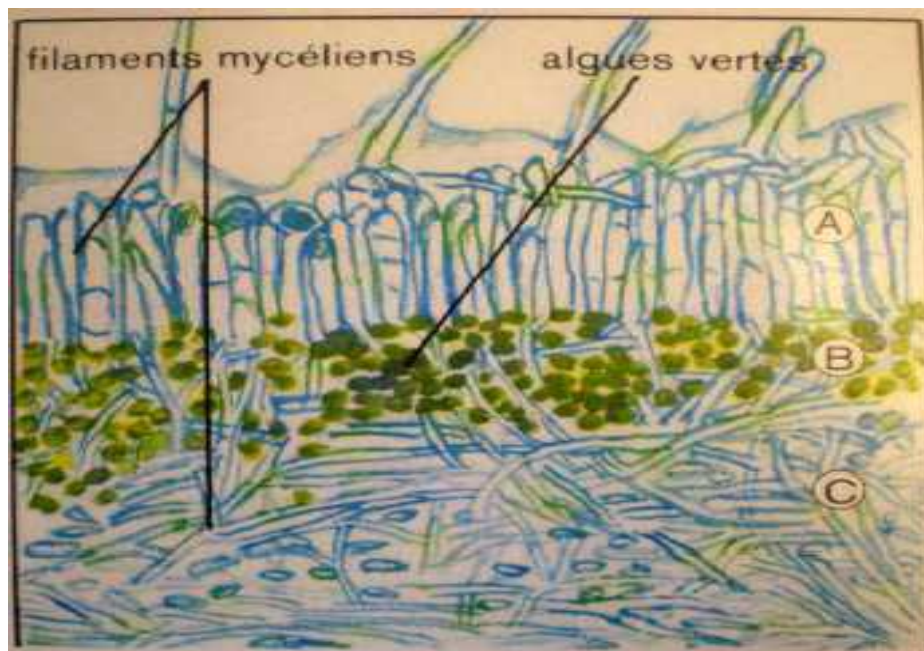


Figure n°10 : Organisation d'un lichen (vue en coupe).

L'exceptionnelle sensibilité des Lichens aux pollutions de l'air s'explique par le fait qu'ils vivent quasiment de « l'air du temps » et, plus précisément, que la « moitié » champignon des Lichens « bénéficie » d'une capacité phénoménale d'absorption de tous les effluents et aérosols. Du coup, leur sensibilité à la pollution, graduée selon les espèces, fait des Lichens, des outils idéaux pour estimer commodément et économiquement les niveaux locaux de pollution atmosphériques ...

Cette "sensibilité/perméabilité" à la pollution atmosphérique liée par exemple à l'absence de régulation stomatique des échanges gazeux (dont dispose les végétaux supérieurs) est renforcée par une pression osmotique élevée à l'intérieur des cellules favorisant les échanges avec l'atmosphère. Certaines espèces sont plus ou moins polluosensibles. Les lichens de type "crustacé" (Figure n°11) sont moins sensibles à la pollution gazeuse que les espèces "foliacées ou fruticuleuses" (Figure n°11) du fait de leur croissance plus lente et leurs échanges gazeux

plus faibles (plus d'échanges avec le substrat). En revanche, les espèces de type "crustacé" sont plus sensibles aux dépôts humides ruisselants sur les troncs (**Van Haluwyn, 1993**).

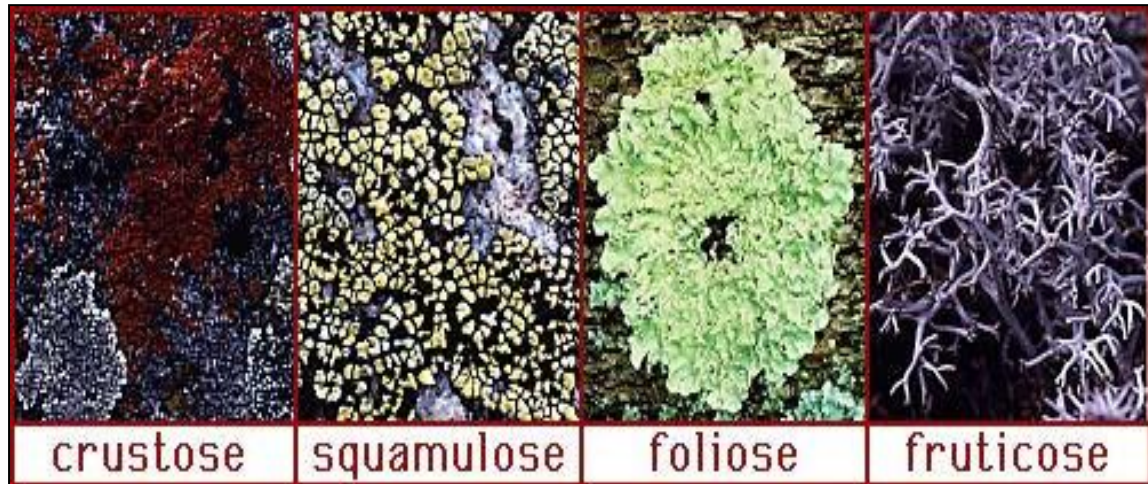


Figure n°11: Différents types de lichens (Source : **Lavalard, 2005**).

Aujourd'hui, quatre méthodes de bioindication ou biointégration lichéniques sont principalement appliquées :

1- La méthode qualitative **Van Haluwyn** (Université de Lille) & **Lerond** fait référence depuis **1986**. Elle est issue d'une construction de classes en s'intéressant à la composition des associations lichéniques présentes et révélatrices d'ambiances de pollution différentes (annexe 2). Dans le Nord de la France, elle a établi une relation entre 7 classes d'association lichéniques et la pollution atmosphérique acide (SO₂).

2- La méthode **Lallemant et al (1996)** établit des zonages de biodiversité (annexe 3) de certains lichens en lien avec la pollution azotée mais cela concernerait plutôt la pollution ammoniacale et les nitrates que les oxydes d'azote. Elle part du constat que certaines espèces sont favorisées et d'autres inhibées par ce type de pollution.

3- La méthode de l'indice global de la qualité de l'air **IGQA** (technique déposée) proposée par **Aairlichens** prestataire issu de l'Université de Nantes (évolution de la méthode du Dr **Lallemant**).

4- La méthode **Kirschbaum et Wirth (1995, 1997)** reliant la pollution atmosphérique globale avec un indice de biodiversité en s'affranchissant de la surévaluation de la qualité de l'air par certaines espèces favorisées par la pollution azotée.

Les relevés sur terrain sont codifiés par un protocole notamment en utilisant des grilles d'échantillonnage pour effectuer des relevés standardisés de la fréquence et/ou du recouvrement des espèces corticales poussant sur les troncs.

Il faut noter que l'utilisation de l'une et/ou l'autre méthode peut faire l'objet d'évolution de par l'apport de connaissances nouvelles voire d'adaptation selon l'objectif recherché ou des spécificités locales.

Ainsi **Deruelle** et **Lerond** ont chacun entre **1977** et **1983** réalisés des études visant à apporter des spécificités régionales. Plus récemment, la méthode **Van Haluwyn & Lerond**

appliquée en parallèle à la méthode **Lallemant et al**, a conduit certains auteurs à retirer de la première deux espèces nitrophiles en vue de prendre en compte la pollution azotée.

Les lichens sont également utilisés comme bioaccumulateurs et principalement pour la détection de contamination en fluor, métaux lourds ou assimilés (arsenic) et en éléments radioactifs.

C'est à la fin des années 1997 dans les vallées alpines qu'Asta **J (1997)** utilisa les lichens comme bioaccumulateurs du fluor dans un contexte d'impact d'émissions industrielles sur les êtres vivants.

Pour les métaux lourds et les éléments radioactifs, le prélèvement de thalles sur les écorces est suivi de traitement des échantillons pour analyse différée en laboratoire. La détermination d'une "période biologique" à partir du temps de résidence (demi-vie, en l'absence de nouvelle contamination) dans les lichens permet de remonter à des contaminations anciennes.

La période biologique liée à l'élimination de l'élément par les lichens, il faut, pour les éléments radioactifs, combiner la période physique de décroissance. Si la corrélation entre teneur en métaux lourds ou éléments radioactifs dans les lichens ne permet pas de comparaison directe avec des normes de qualité de l'air, il convient de souligner, dans des zones étudiées, des correspondances avec des teneurs dans le corps humain démontrées pour le plomb et envisageables pour les autres éléments accumulés.

A hand-drawn scroll with a black outline and a grey shadow on the right side. The scroll is unrolled, showing two lines of text in a dark purple, hand-drawn font. The first line is underlined. The scroll has a small grey circle at the top right corner, suggesting a binding or a hole.

DEUXIEME PARTIE
ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I



**PRESENTATION DU SITE
D'ETUDE**

I-1- Situation générale de la ville de Sidi Bel Abbés :

Grande ville de l'ouest Algérien (figure n°12), située à 80 km au sud ouest d'Oran, une altitude moyenne de 470 m, au centre d'une vaste plaine comprise entre les monts de Tessala au nord, et les monts de Dhaya au sud, sa superficie avoisine les 8300 km².

La commune de Sidi Bel Abbés se situe entre les deux parallèles 35° et 11°Nord, et 0°et 38° Ouest, elle fait partie de la plaine de l'Atlas tellien.

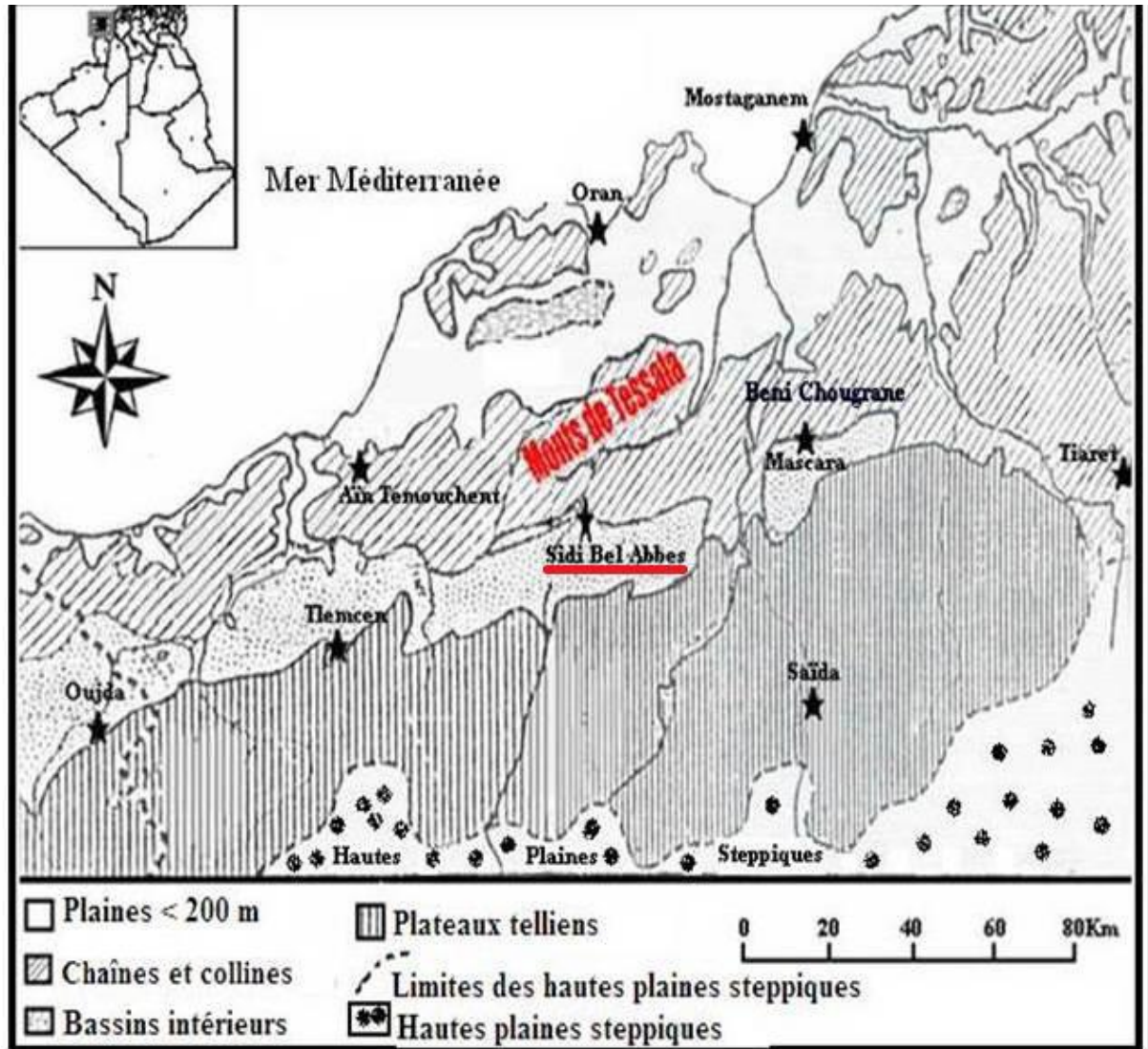


Figure n°12: Localisation de la ville de Sidi Bel Abbés.

L'actuel de la ville de Sidi Bel Abbés est devenu un grand centre socio-économique rayonnant sur toute la région, d'une part par son tissu industriel riche du à une zone industrielle implantée au sud-est où cohabitent deux grands complexes industriels (électronique et mécanique) et de la petite entreprise (plastique, matériaux de construction.....).

La ville de Sidi Bel Abbés ne cesse de croître et figure parmi les villes ayant réussi son plan d'urbanisation.

Dès l'origine, la ville de Sidi Bel Abbés, favorisée par sa position géostratégique et son infrastructure dense, devient le principal point de transit et de contrôle de la région. Ce statut de centre régional lui permet d'évoluer très rapidement sans commune mesure avec les autres agglomérations fondées pour l'encadrement de leurs territoires agricoles.

La commune de Sidi Bel Abbés couvre une superficie de 6794 ha dont 4547 ha en surface agricole utile (S.A.U), soit 65% de la surface totale.

I-2- Caractéristiques climatiques :

La région de Sidi Bel Abbés a subi des influences maritimes et sahariennes, ces dernières sont prédominantes ; on distingue une saison sèche et une saison humide, mais avec une saison de transition, le printemps moins marqué que dans le tell ou sur le littoral.

Le climat au niveau de la ville Sidi Bel Abbes est à dominance semi aride avec une pluviométrie faible et irrégulière ; ainsi une amplitude thermique empêchant toute production végétale non adaptée.

Le climat est très chaud en été et très froid en hiver où la neige tombe parfois en abondance.

Les données climatiques à Sidi Bel Abbes sont consignées dans le tableau n° 07:

Mois	ja n.	fé v.	ma rs	avr il	m ai	jui n	jlle t	ao ût	se p.	oc t.	no v.	dé c.	ann ée
T° minimale moyenne (°C)	1	2	4	6	8	12	15	15	13	9	6	2	7
T° moy (°C)	8	9	11	13	16	21	25	25	21	17	12	8	15
T° maximale moy (°C)	14	15	18	20	24	29	34	35	30	24	18	14	22
Précipitati ons (mm)	61	49	46	41	37	11	2	4	14	38	44	63	410

Tableau n° 07 : Statistiques des données climatique de Sidi Bel Abbes sur 65 ans (Source : Weatherbase, 2011).

I-3- Caractéristiques topographiques :

Les grandes unités topographiques de la commune sont organisées grossièrement de part et d'autre de l'axe de l'oued Mekerra, que se soit au Nord et au Sud ou à l'Est et à l'Ouest.

L'axe de l'oued orienté Ouest-Est occupe un couloir entouré par des petites collines. Ces collines ne dépassent pas les 550m en altitudes absolues, mais dominant la vallée par des

dénivelées de 20 à 30 m, important surtout dans la partie Nord-Ouest où l'oued Mekerra est encaissé.

L'agglomération de Sidi Bel Abbès est centrale par rapport à sa commune et occupe les zones les plus déprimées topographiquement.

La commune de Sidi Bel Abbès est caractérisée par de faibles pentes. La pente est de 0 à 3% sur la quasi-totalité du territoire de la partie Nord. Le Nord-Est est pratiquement plat où la pente est de 0% ; le reste de la ville s'est distingué par une pente allant de 3 à 5%.

I-4- Caractéristiques édaphiques :

Le substrat géologique dans la commune de Sidi Bel Abbès est à dominance secondaire, mais n'affleure presque pas puisqu'il est recouvert par de fortes épaisseurs de formation plio-quadernaire à dominance de poudingues et d'alluvions. Les formations quadernaires les plus anciennes sont encroutées. Cette croûte sur certaines hauteurs où elle n'a pas été perturbée paraît sous forme de dalle calcaire épaisse. Ces formations ont été favorables à la formation de sols profonds que nous retrouvons dans plus de 30% de la superficie plaine (URBAT, 2011).

I-5- Occupation du sol :

Les grandes occupations du sol dans la commune de Sidi Bel Abbès étaient à dominances agricoles et pour deux grandes spéculations : la vigne sur les coteaux et les céréales dans les basses terres. Certains espaces privilégiés ont été occupés par des maraichages ou de l'arboriculture.

Aujourd'hui, la tendance de l'occupation du sol avec les extensions urbaines dans tous les sens, les espaces agricoles reculent, l'espace urbanisé de l'agglomération de ces périphéries qui s'étend sur plus de 2500 ha constitue une grande tâche de béton à l'intérieur d'une plaine agricole.

I-6- Organisation de la ville de Sidi Bel Abbès :

Considérée comme une ville neuve par rapport aux grandes métropoles du pays, la ville de Sidi Bel Abbès a su tirer profit de sa situation et de sa position géographique pour jouer un rôle régional et local important.

L'analyse de l'organisation de la ville révèle des distorsions entre le Nord et le Sud. Le premier compte essentiellement des équipements normatifs de proximité auxquels s'ajoutent des équipements structurants d'importance régionale, voir même nationale. Dans la partie Sud, les équipements sont d'abord plus fournis, même s'ils sont encore concentrés autour du centre ville, et plus diversifiés et on assiste même à la spécialisation de certains quartiers en équipements administratifs commerciaux ce qui rend ces quartiers toujours attractifs en accentuant les déséquilibres de fonctionnement de la ville.

I-7- Structure de la ville de Sidi Bel Abbas :

La ville est structurée comme suit (figure n° 13) :

- **les voies principales** : deux axes cardinaux du centre-ville :
 - TLEMCEN/MASCARA,
 - ORAN/ BAB DHAYA.
- **les axes structurants** : à l'intérieur de la ville, permettent la liaison entre les différents quartiers :
 - **la rocade** : c'est une voie qui entoure la ville et permet à diminuer la pression mécanique des voies intérieures,
 - **le chemin de fer** : une ligne ORAN-MAROC, avec gare de Triage et ateliers de réparation,
 - **les points de liaison nord /sud** : permet la communication entre les quartiers au sud et au nord de l'oued MAKKARH.

On peut citer le projet futur de tramway qui facilite la circulation inter-quartier.

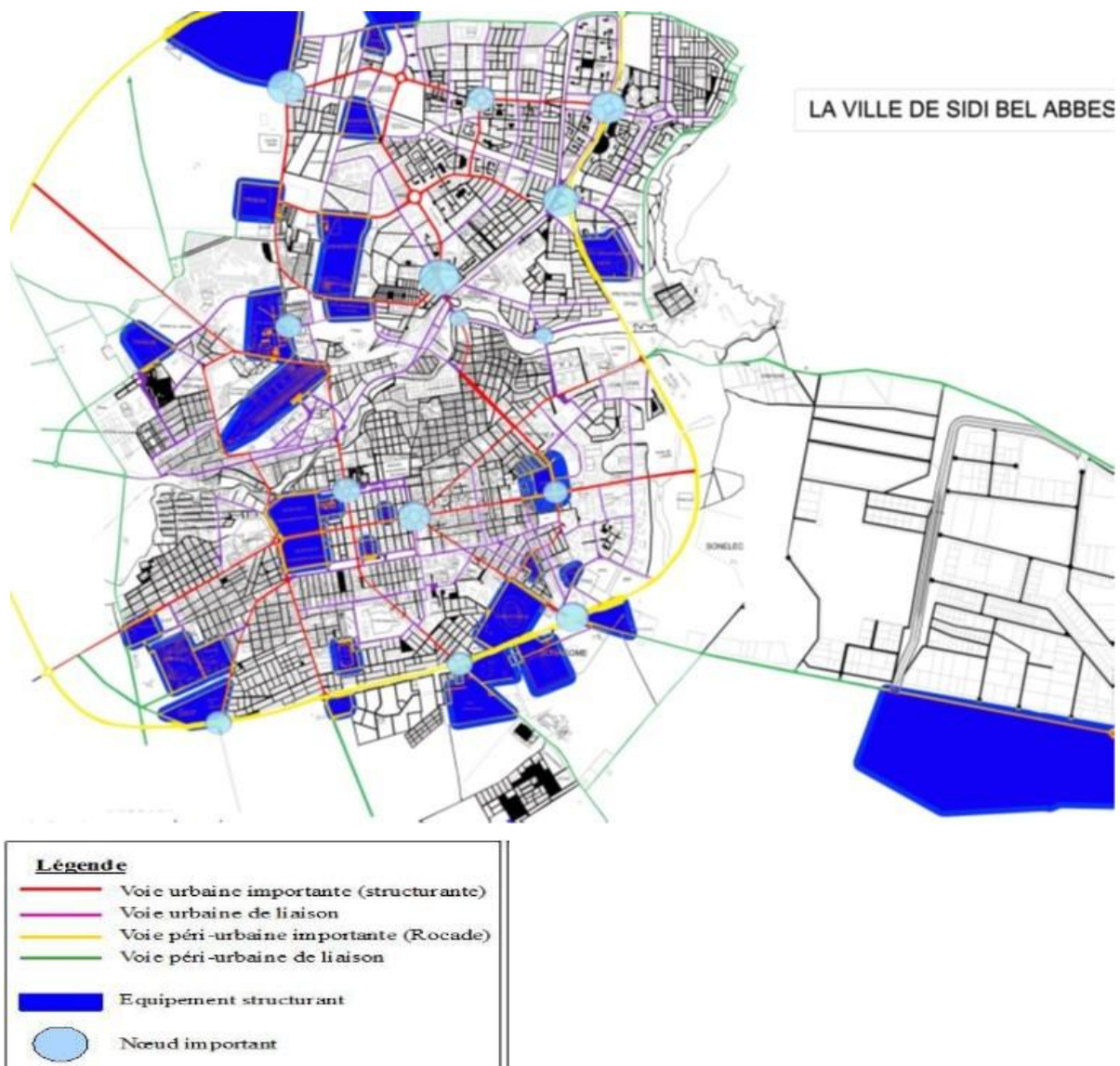


Figure n° 13 : Structure de la ville de Sidi Bel Abbès (Source : Google Map, 2014).

I-8- Situation démographique :

I-8-1- Répartition de la population par sexe et par âge :

La population ayant un âge inférieur à 15 ans représentant 28% du total de la population, constitue dans les années à venir une importante ressource humaine (figure n°14).

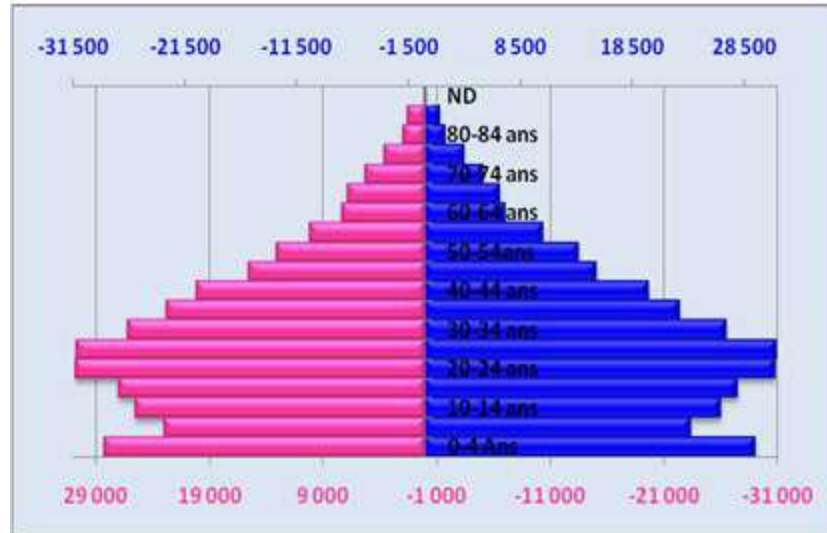


Figure n°14 : Répartition de la population de la ville de Sidi Bel Abbès par sexe et par âge (Source : O.N.S, 2008).

I-9- Réseau routier et voies de communications :

La ville de Sidi Bel Abbès dispose d'un réseau de voirie assez dense et très différencié, s'articulant autour de la rocade qui ceinture la ville des côtés Est et Sud.

La qualité de la couverture spatiale de la ville par le réseau de voirie, diffère d'un quartier à un autre.

A l'hyper centre, les principaux axes jouissent de caractéristiques géométriques relativement bonnes permettant une bonne accessibilité aux différents endroits. Il subsiste, néanmoins, quelques voies de desserte où les dimensions de la chaussée sont plus réduites.

Au niveau des autres quartiers, ces derniers disposent d'un réseau de desserte assez riche enserré par les voies de distributions.

I-9-1-Accessibilité et infrastructure de liaison de la ville :

L'accessibilité des routes dans la ville de Sidi Bel Abbès est comme suit (figure n° 15) :

- La Route Nationale n° 7 reliant Sidi Bel Abbès à Tlemcen et à Mascara.
- La Route Nationale n° 13 qui relie Sidi Bel Abbès à Oran.
- Un tronçon de 70 Km du projet de l'autoroute traversera la Wilaya de Sidi Bel Abbès.

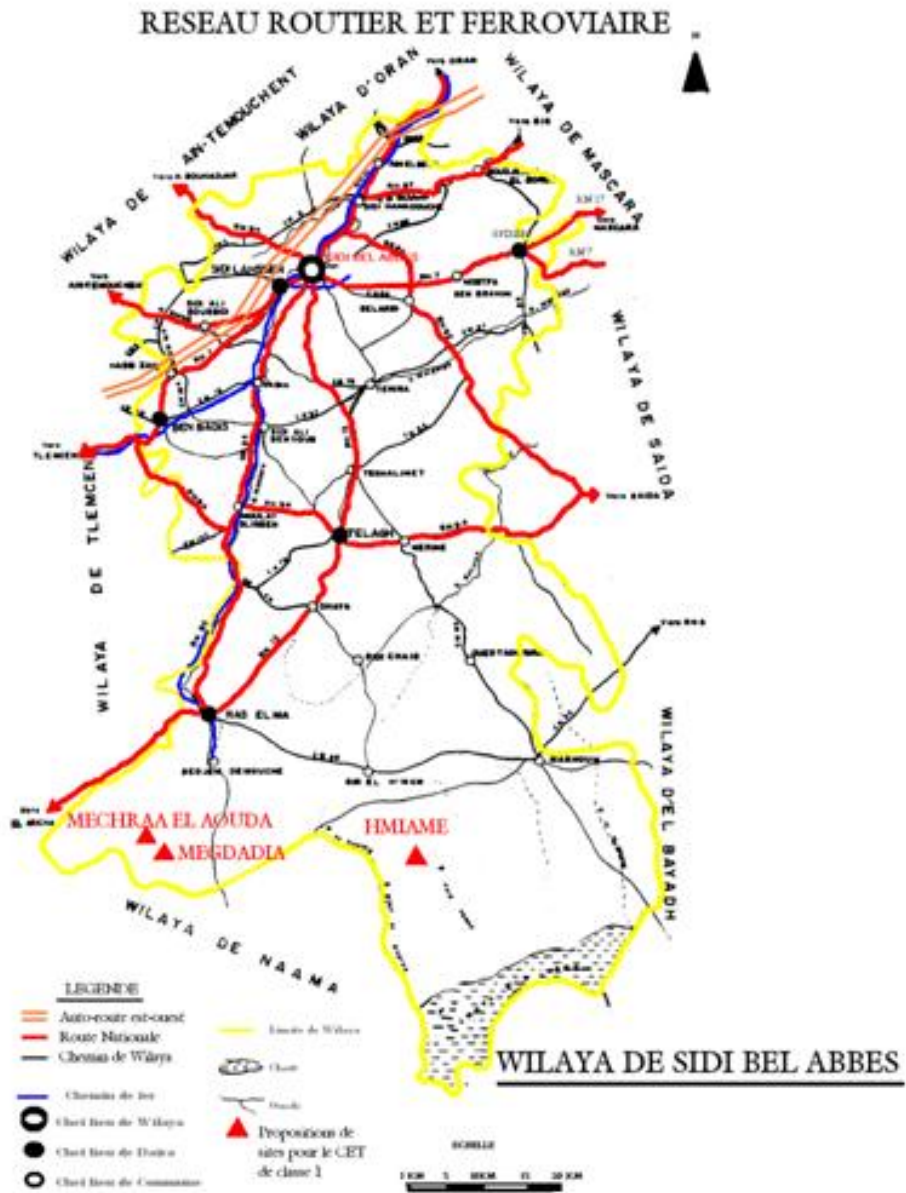


Figure n° 15 : Carte du réseau routier de la ville de Sidi Bel Abbés.

La Wilaya de Sidi Bel Abbès gère 1 719 Km de routes réparties comme suit :

- 589 Km de routes nationales
- 687 Km de chemins de Wilaya.
- La voie de chemin de fer reliant Tlemcen à Oran

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.

I-9-2-Les sens de circulation :

Le réseau de voirie est en majorité à circulation bidirectionnelle avec 70% des sections ; 30% de ce réseau présente des sections unidirectionnelles. Celles-ci se concentrent au niveau l'hyper centre de la ville de Sidi Bel Abbès.

I-10-Trafic routier :

Le volume du trafic recensé au niveau de la ville de Sidi Bel Abbès évolue de manière accélérée, sachant que pour l'année 2011 le parc automobile de la wilaya de Sidi Bel Abbès était constitué de 65889 véhicules (figure n° 16), dont plus de 38994 voitures particulières. Ce parc n'a pas connu un tel rajeunissement comme ces (3) trois dernières années, selon les rapports de l'Office national des statistiques (**ONS, 2014**).

En période de pointe, et sur des points sensibles de la ville, la circulation est moins fluide, réglée et gérée par des agents de l'ordre, afin d'éviter des blocages au niveau des carrefours, des bouchons sur certains axes de la voirie, et le trafic varie d'une section à une autre et d'une zone à une autre selon les pôles générateurs de déplacements (**voir annexe 1**).

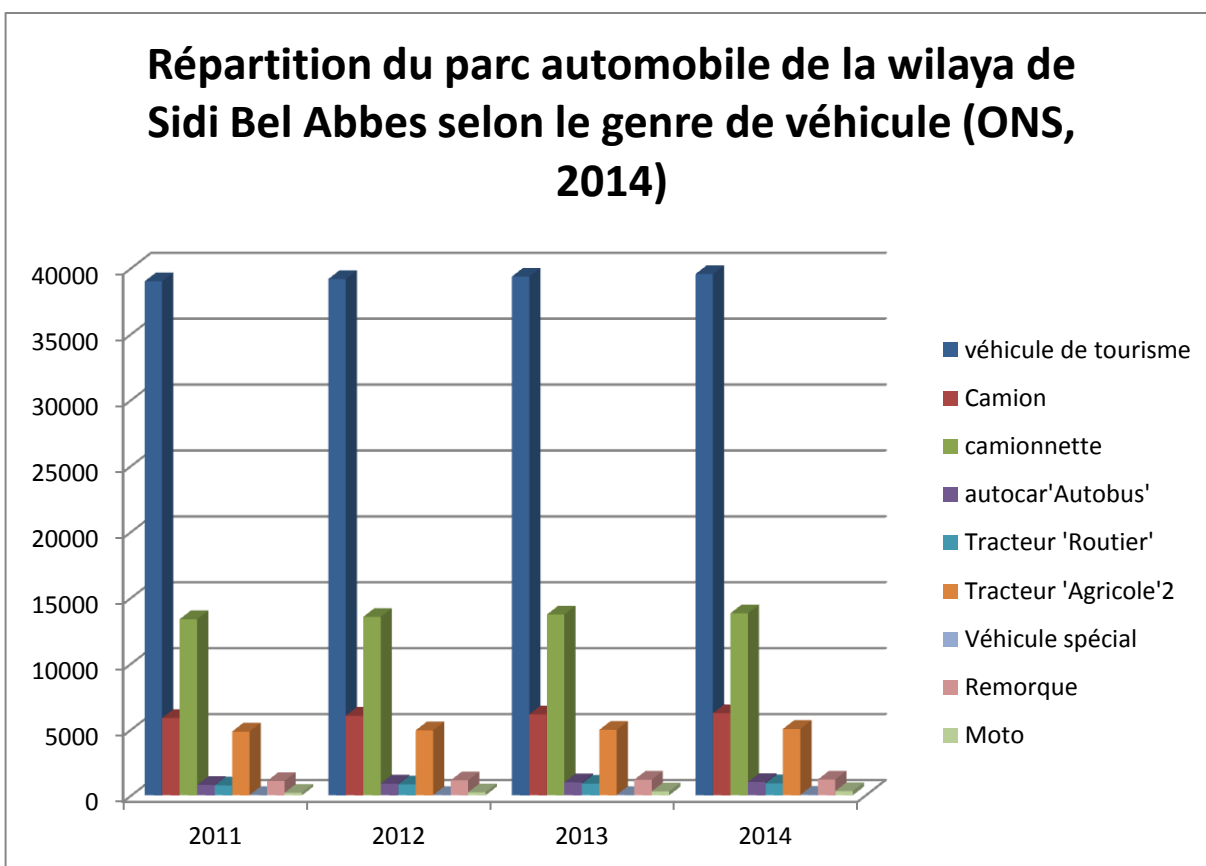


Figure n°16: Répartition du parc automobile de la wilaya de Sidi Bel Abbés selon le genre du véhicule (Source : ONS, 2014).

Malgré les nouvelles politiques qui facilitent la possession des véhicules neufs, le parc automobile au niveau de Sidi Bel Abbès demeure vieux et se renouvelle lentement (les $\frac{3}{4}$ des véhicules ont plus de vingt et les 68% ont plus de 10 ans) ce qui ne joue pas en faveur de l'environnement sachant que les véhicules vétustes sont les plus polluants.

De plus, l'usage actuel de la climatisation (des véhicules neufs vendus) devrait générer des surimmissions de l'ordre de 20%. Par ailleurs, il est utile de souligner que les véhicules de transport renseignent sur l'activité de transport de la ville, en occupant 4% du trafic (ONS, 2014).

I-11- Consommation des carburants au niveau de la ville de Sidi Bel Abbès :

Selon les données recueillies auprès de NAFTAL, la consommation estimative des différents carburants est en perpétuelle croissance au niveau des stations de carburants de la ville de Sidi Bel Abbès, à savoir l'essence normale, l'essence super, l'essence sans plomb et le gaz oil ; cela reviendrait au développement du parc automobile. Les quantités de carburants distribuées, de 2011 à 2014, sont illustrées dans la figure n° 17.

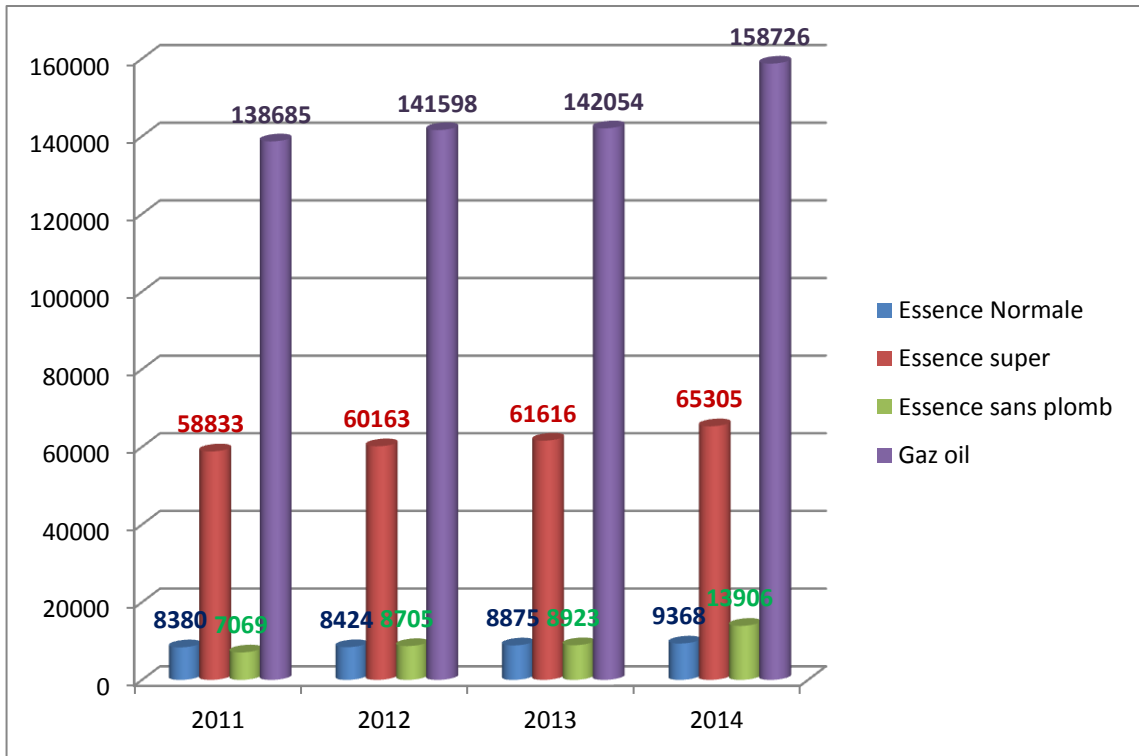


Figure n°17 : Quantités distribuées par type de carburant en m³ (Source : NAFTAL, 2014).

Les quantités de carburants consommées, de 2011 à 2014, sont illustrées dans la figure n° 18:

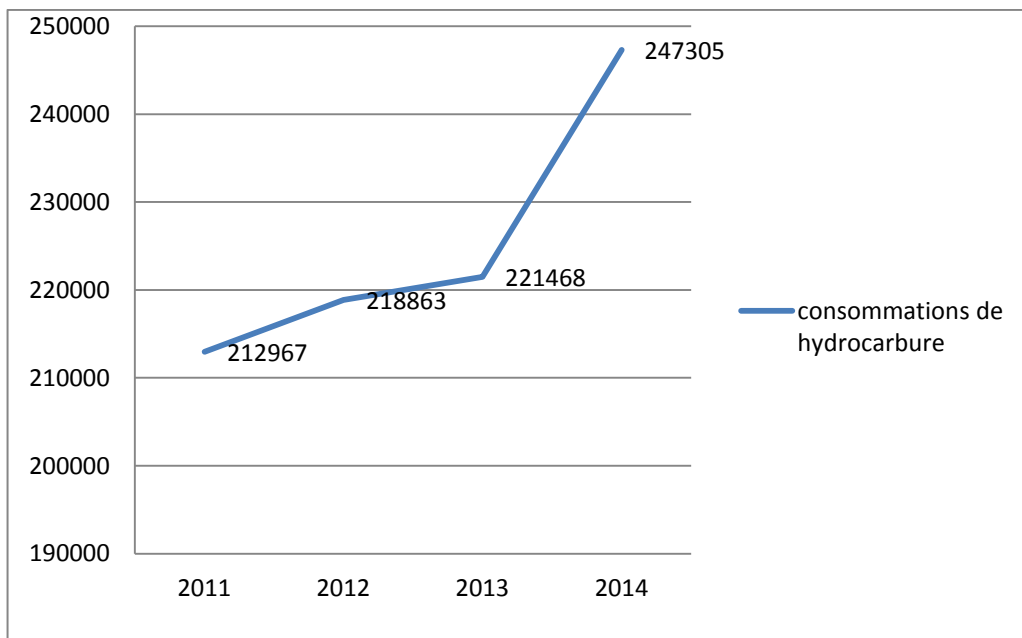


Figure n° 18 : La distribution par type de carburant en m³ (Source : NAFTAL, 2014).

CHAPITRE II

**METHODES ET TECHNIQUES
UTILISEES**

II-1- Le matériel Végétal :

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

Le matériel végétal utilisé est le thalle *Xanthoria parietina* (L.). Cette espèce a déjà fait l'objet de nombreux travaux scientifiques indiquant qu'il est un excellent accumulateur de métaux lourds. C'est un lichen à Thalle foliacé, jaune orangé, à lobes plats de 1 à 6 mm de large arrondis aux extrémités. Les Apothécies sont généralement nombreuses dans la partie centrale, pouvant atteindre 4 mm de diamètre ; il présente un disque jaune-orangé à bord thallin persistant. Les spores sont incolores, polariloculaires, de diamètre $10-17 \times 6-9 \mu\text{m}$. On le retrouve sur tout substrat rocheux, acide ou calcaire, toits et troncs d'arbres (figure n° 19).

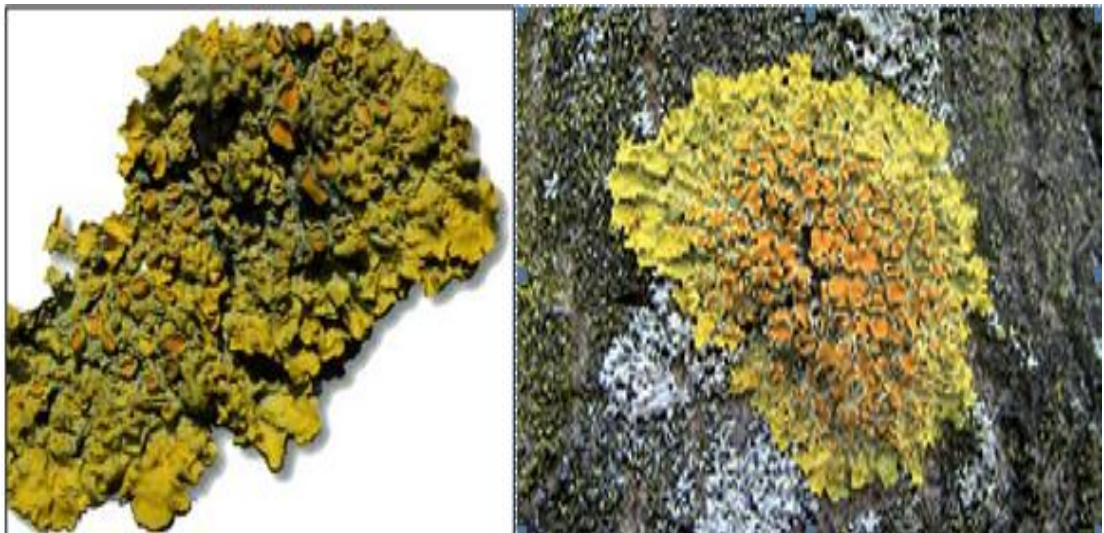


Figure n°19 : vue d'ensemble du lichen *Xanthoria parietina* (L.).

II-2- Transplantations lichéniques et choix des sites :

Le protocole expérimental utilisé dans cette étude consiste à transplanter en ville, le lichen *Xanthoria parietina* (L.) qui, abondant dans la région de Sidi Bel Abbés, a déjà fait l'objet de nombreux travaux scientifiques (c'est un excellent accumulateur de métaux lourds). Cette technique de transplantation qui a été mise au point par **Semadi et Deruelle (1993)** consiste à greffer un disque d'écorce supportant le lichen sur un arbre de même espèce, si possible, ou sur une planche. Les échantillons transplantés ont été récoltés dans des régions non contaminées (les Monts de Tessala) dont les conditions écologiques sont semblables à celles du site de transplantation.

Des lichens témoins, éloignés de toute source de pollution atmosphérique, ont servi de références lors de la comparaison avec les lichens contaminés. La captation du Plomb et du Zinc, émis par les véhicules empruntant le réseau routier de la ville de Sidi Bel Abbés, est assurée par les thalles de *Xanthoria parietina* (L.). Ces lichens sont récoltés dans la montagne de Tessala, située à une quinzaine de kilomètres de la ville de Sidi Bel Abbés. Ils sont placés à

1.30 m du sol dans des stations où la circulation de l'air n'est pas entravée (**Deruelle, 1981**). La transplantation des thalles du lichen *Xanthoria parietina* (L.) est mise au point par **Brodo (1961)**.

Trente huit stations sont retenues dans cette investigation, pour les deux saisons (la saison hivernale H01, H02, H03, H04,.... H38 et la saison estivale E01, E02, E03, E04,.... E38). La figure n°20 indique les lieux des stations de transplantation des thalles du lichen *Xanthoria parietina*(L.) . La codification des stations est reportée dans le tableau n° 10. Elles sont réparties sur l'ensemble du réseau urbain. Deux stations sont matérialisées en zone arborée de la montagne de Tessala pour servir de témoins (T01, T02).

La campagne d'échantillonnage a été réalisée sur deux époques, à savoir : la période hivernale du 16-12-2010 au 15-01-2011 et la période estivale du 27-06-2011 au 26-07-2011. La durée de l'exposition était de 30 jours pour chaque période en moyenne, pour minimiser toutes sortes de perturbations physiologiques des lichens transplantés (**Sharma, 1987**).

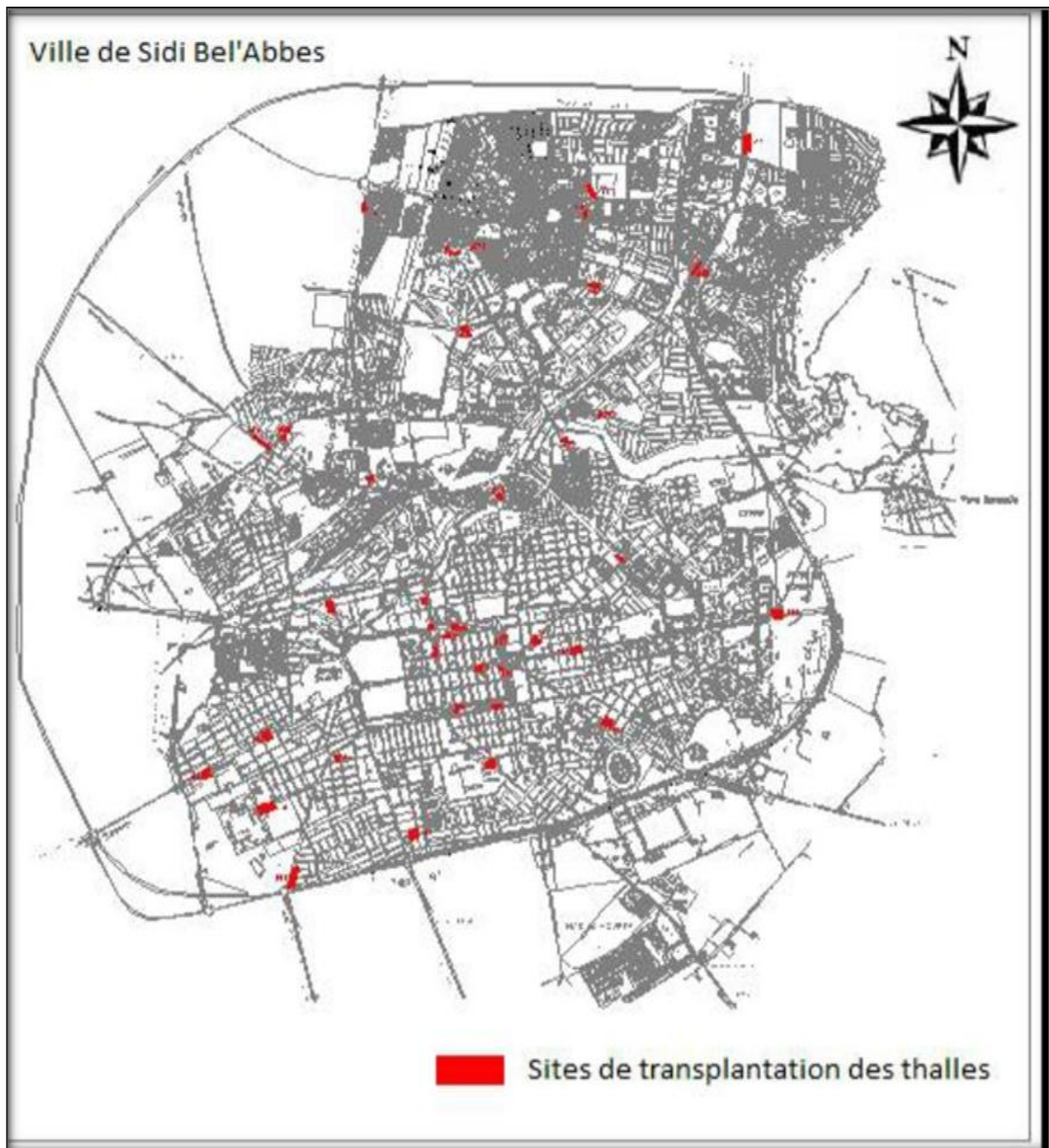


Figure n°20: Emplacement des transplantations lichéniques dans la ville de Sidi Bel Abbés.

Tableau n° 08 : Codification des stations ayant servi à la transplantation du lichen :

Codes des stations	Stations
(H, E) 01	Rue de la Macta (du côté du foyer de la police)
(H, E) 02	Rue de la Macta (du côté de la résidence du Wali)
(H, E) 03	Rue Guermouche Mohamed (à côté de la station d'essence)
(H, E) 04	Boulevard Mohamed V(Rond -point)
(H, E) 05	Boulevard Mohamed V(Parking auto)
(H, E) 06	Boulevard Al Emir AEK (Rue de la mosquée)
(H, E) 07	Boulevard Didouche Mourad
(H, E) 08	Boulevard Refref (Arrêt de bus)
(H, E) 09	Centre payeur
(H, E) 10	Petit vichy (Rue principale)
(H, E) 11	Petit vichy (en face lycée Azza)
(H, E) 12	Rue de Telagh
(H, E) 13	Rue de l'hôpital
(H, E) 14	Rue d'En-nadjah
(H, E) 15	Rue Bab El Dhaya
(H, E) 16	Rue de Mascara
(H, E) 17	Rue de Issat Idir
(H, E) 18	Rue de Caroubier (Adda Boudjelal)
(H, E) 19	Rue de Caroubier (à côté du parc de loisir)
(H, E) 20	Souk Ellil
(H, E) 21	Boulevard Théodore héritier (à côté de la station d'essence)
(H, E) 22	Boulevard Théodore héritier (à côté de l'Agence)
(H, E) 23	Village Périn
(H, E) 24	Fac. centrale
(H, E) 25	Maconais
(H, E) 26	CPR
(H, E) 27	Sidi Djilali (village Errih)
(H, E) 28	Zawya (Direction de l'environnement)
(H, E) 29	Zawya (centre médical)
(H, E) 30	Fac. de lettres
(H, E) 31	Mimosa
(H, E) 32	400 logts (à coté de la mosquée)
(H, E) 33	Ben hammouda (arrêt de bus)
(H, E) 34	Rocher (Rond-point)
(H, E) 35	Rocade (Station d'essence)
(H, E) 36	Rue de Tessala
(H, E) 37	Campus
(H, E) 38	Rue de médecine
T ₀₁	Monts de Tessala
T ₀₂	Monts de Tessala

II-3-Prélèvement des échantillons :

Le prélèvement est effectué de façon à limiter les contaminations, en évitant l'utilisation d'outils ou des récipients susceptibles de contaminer l'échantillon (outils en acier ou en inox, récipients dont les parois contiennent des pigments à base d'éléments en traces, par exemple PVC). Les coordonnées géographiques (x, y) de chaque transplante, ont été notées à l'aide d'un GPS. Les échantillons de lichens sont récoltés, immatriculés et transportés dans des sacs en papier le jour même de la récolte.

II-4-Traitement des échantillons :

Le plus souvent, les méthodes de préparation et de dosage des métaux dans le sol sont identiques à celles utilisées pour les feuilles, les lichens, les champignons (**Alfani et al, 1996 ; Cuny, 1995**).

Des échantillons de lichens sont prélevés le même jour pour chaque site d'étude. Après déshydratation pendant au moins 72 heures à 105 °C, puis pesage et nettoyage à l'eau oxygénée bouillante pour minéraliser le lichen, le dosage est effectué dans une solution décimale normale de HCl (**Deruelle, 1981**).

Au laboratoire, les thalles récoltés, sans lavage préalable, ont fait l'objet des opérations suivantes (figure n° 21) :

➤ Déshydratation des thalles : la méthode habituelle est la déshydratation en étuve à 105 ° ± 2 °C pendant 72 heures. Les thalles déshydratées ont été pesées pour obtenir le poids de matière sèche MS qui est de l'ordre de 0,2 à 0,3 g ;

➤ Broyage : cette étape est éminemment critique car elle peut être source de contaminations ou de pertes.

Pour les lichens, le broyeur utilisé est un mortier en agate. Les matériaux constituant le broyeur sont constitués de titane, d'aciers garantis sans « métaux lourds ». La poudre obtenue est calcinée à l'aide des capsules en quartz dans un four dont la température est augmentée progressivement jusqu'à 500 °C ;

➤ Minéralisation et mise en solution : la poudre fine obtenue après calcination est placée dans une solution acide et oxydante (0,5 ml de mélange d'acide nitrique HNO₃, d'acide fluorhydrique HF et d'acide perchlorique ClHO₄) puis chauffée dans un bain marie, pendant 24 h jusqu'à destruction complète de la matière organique. Les tubes qui ont été mis à ébullition sont complétés par 10 ml d'eau distillée.

Cette méthode permet le dosage de l'ensemble des éléments minéraux traces.

Le dosage du plomb est réalisé par spectrométrie d'absorption atomique en mode d'atomisation électrothermique (spectromètre Perkin Elmer 100) (**voir annexe 2**).

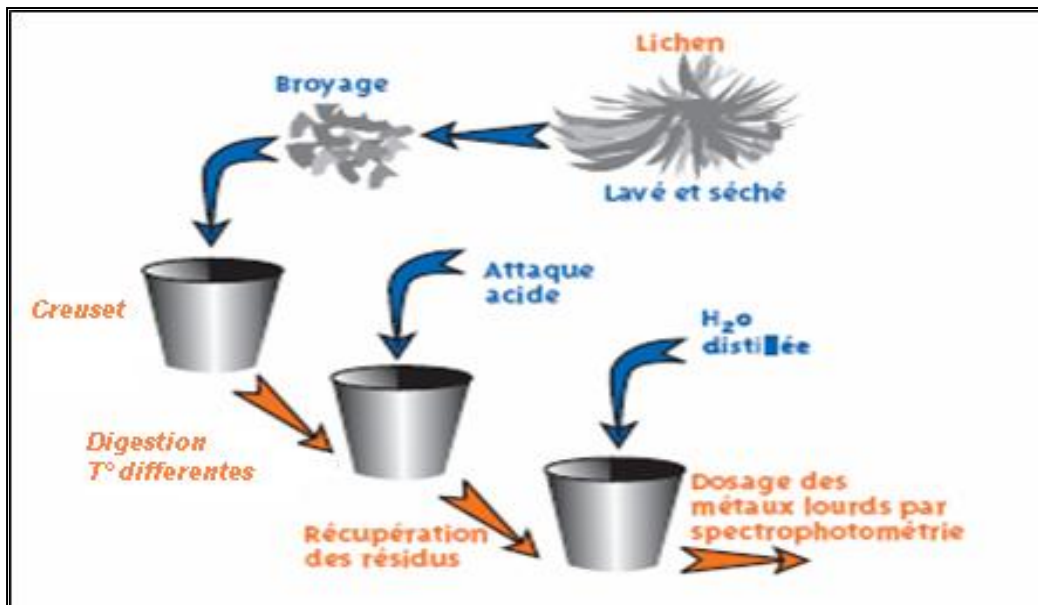


Figure n° 21 : Protocole analytique pour le traitement et le dosage des échantillons
(Source : Atmo Picardie, 2004).

II-5- Méthodes statistiques :

Le traitement statistique des données a été effectué à l'aide des logiciels Excel et Statistica®, version 6.0 (Voir annexe 3). Une statistique descriptive a été effectuée pour estimer la variabilité des concentrations des éléments traces métalliques dosés.

Les données recueillies ont également fait l'objet d'une analyse de variance à un seul facteur de classification.

La classification hiérarchique ascendante est appliquée aux données des ETM dosés pendant la saison d'hiver et la saison d'été afin de regrouper, en classes et sous-classes, les stations de concentrations moyennes voisines.

L'analyse en composantes principales est appliquée aux différentes valeurs des concentrations de Plomb et de Zinc pour comparer graphiquement les deux saisons d'échantillonnage dans le plan factoriel (1×2).

II-6- Cartographie de la pollution atmosphérique :

Les cartes de pollution de Plomb et de Zinc, établies pour les saisons d'hiver et d'été, sont réalisées par la méthode automatique, interpolation/extrapolation des données in situ à l'aide de logiciels MapInfo[©] et Vertical Mapper^(TM). Les coordonnées géographiques, de chaque site d'observation, ont été obtenues par un GPS.

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

III-1- Les concentrations en plomb et en Zinc dans les différentes stations échantillonnées :

L'analyse spatiale des concentrations moyennes en Plomb obtenues sur l'ensemble des sites urbain de la ville de Sidi Bel Abbés a permis de localiser les sites pollués.

III-1-1- Les teneurs en plomb durant les deux saisons :

III-1-1-1- La saison d'Hiver :

L'analyse de la variance à un seul facteur, réalisée sur les valeurs de concentration de plomb dans les stations échantillonnées, indique une différence hautement significative ($F_{obs} 12.07 > F_{th} 1.86$ à $\alpha = 1\%$). Les concentrations en plomb diffèrent d'une station à une autre (figure n° 22).

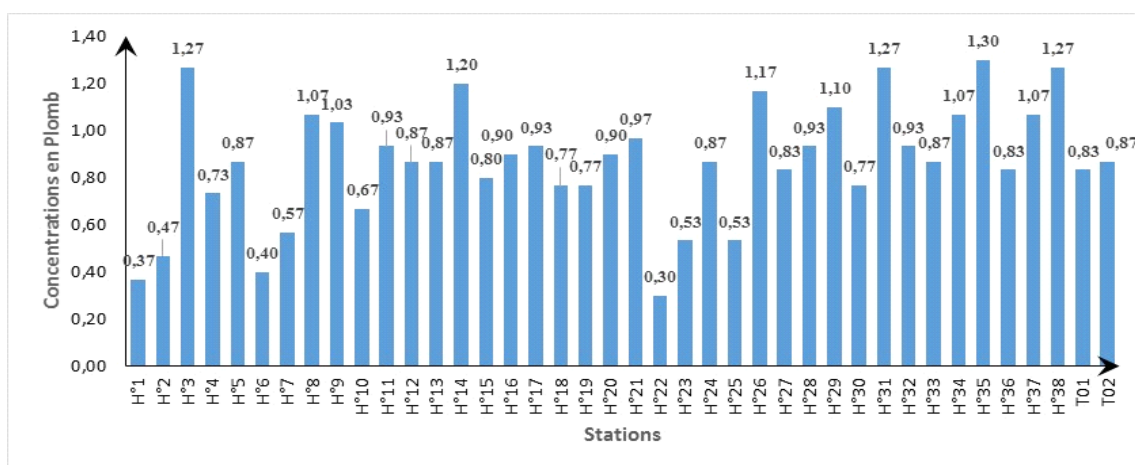


Figure n° 22: Histogramme des concentrations moyennes en Plomb mesurées durant la saison d'hiver.

La figure n° 22 montre que Les concentrations en Plomb durant la période d'hiver connaissent des valeurs moyennement élevés. Cette figure nous a permis de faire une comparaison spatiale où nous constatons que les sites les plus contaminés (H3, H14, H26, H31, H35, H38) ont des teneurs en Plomb de 02 à 04 fois plus qu'aux autres sites.

Cette variation dans les teneurs du Pb accumulées dans les thalles du lichen *Xanthoria parietina* (L.) s'explique par la répartition des émissions liées à la circulation automobile principalement à l'origine de cette distribution géographique de la pollution. En effet, les sites les plus pollués sont localisés dans des secteurs caractérisés par une circulation automobile dense et une forte concentration démographique.

La fréquentation et la présence de pentes dans le réseau routier urbain sont à l'origine de la forte variabilité des concentrations de plomb entre les différentes stations (**Joumard et al, 1995**). La forte variation des concentrations de plomb entre les stations et les saisons d'échantillonnage est due à l'inégale répartition du trafic routier urbain où certains quartiers sont plus fréquentés par les moyens de transport que d'autres. L'émission de plomb est plus importante dans les quartiers situés sur de fortes pentes (**Belhadj et al, 2011**).

III-1-1-2- La saison d'Eté :

La comparaison des concentrations du Plomb est effectuée par une analyse de la variance à un seul facteur (station). La différence est hautement significative ($F_{obs} 11.28 > F_{th} 1.86$ à $\alpha = 1\%$). Les valeurs moyennes, par station échantillonnée, sont illustrées dans la figure n° 23.

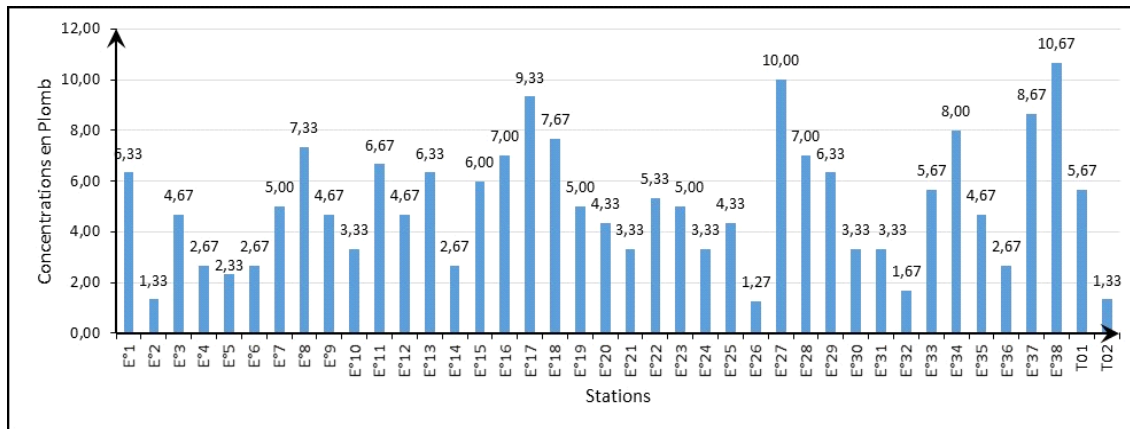


Figure n° 23 : Histogramme des concentrations moyennes en Plomb mesurées durant la saison d'Eté.

La variation spatiale des concentrations moyennes en Plomb obtenues sur l'ensemble du tissu urbain de la ville de Sidi Bel Abbés, durant la période estivale a permis de localiser les sites contaminés. Nous remarquons une différence significative de l'accumulation du Plomb par les thalles du lichen *Xanthoria parietina* (L.) dans les stations qui sont localisées au centre et au Nord de la ville de Sidi Bel Abbés à savoir (E1, E8, E11, E16, E17, E18, E27, E28, E29, E34, E37, E38), ces dernières connaissent des concentrations plus élevées que celles du Sud de la ville. Ceci s'explique par la dispersion du polluant sous l'action des vents qui semble avoir une grande influence sur l'accumulation du polluant dans les plantes (Semadi, 1989).

III-1-1-3- Comparaison des concentrations de Plomb des saisons d'Hiver et d'Eté :

Cette comparaison est effectuée par une analyse de la variance à deux facteurs (stations, saisons). Les résultats du test statistique appliqué indiquent respectivement une différence hautement significative entre les stations ($F_{obs} 11.69 > F_{th} 1.48$ à $\alpha = 1\%$) et les saisons ($F_{obs} 1348.97 > F_{th} 3.90$ à $\alpha = 1\%$). L'interaction, mesurant la dépendance réciproque des stations et des saisons, est positive ($F_{obs} 10.90 > F_{th} 1.48$ à $\alpha = 1\%$). La figure n° 24 représente les valeurs moyennes des concentrations de plomb enregistrées dans les stations échantillonnées à l'intérieur de la ville de Sidi Bel Abbés.

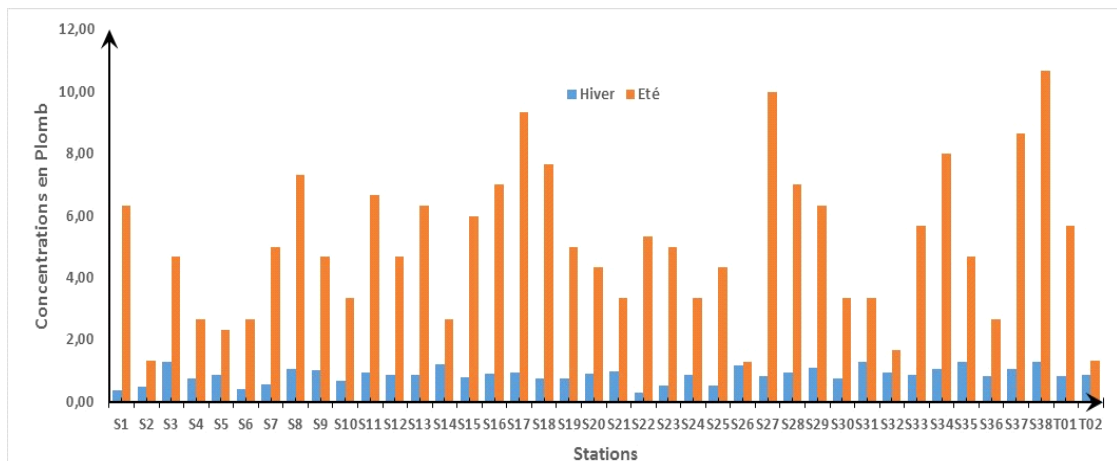


Figure n° 24 : Histogramme des concentrations moyennes de Plomb mesurées durant les saisons d'Hiver et d'Eté.

L'utilisation des thalles du lichen *Xanthoria parietina* (L.), dans la quantification du plomb émis par les véhicules, a révélé des résultats très intéressants. Les concentrations de plomb atmosphérique est variable d'une saison à une autres (**Rabinowitz et Needleman, 1982 ; Schell et al, 1997**). Nous remarquons que l'accumulation spatiotemporelle de ce métal est plus intense et plus diffuse en été qu'en hiver. Au vu des résultats obtenus, nous pouvons conclure que le lichen *Xanthoria parietina* (L.) utilisé dans cette étude est bioaccumulateur de la pollution atmosphérique notamment celle du Plomb. Le taux d'accumulation du Plomb dans cette espèce est en étroite relation avec la distance qui sépare les sites d'échantillonnage de la source polluante représentée par les différents axes routiers. La variabilité des concentrations du Plomb est probablement due, d'une part aux facteurs intrinsèques propres à l'espèce utilisée et d'autre part, aux facteurs extrinsèques d'ordre climatiques et topographiques (pluviométrie et positionnement des sites d'échantillonnage).

Les effets néfastes du plomb chez l'être humain sont connus depuis fort longtemps. La première observation épidémiologique publiée dans une revue scientifique remonte à 1860 (**Paul, 1860**). Les conséquences de la pollution de l'air, sur la santé humaine, sont rapportées par de nombreux auteurs notamment (**Krupnick et al, 1990 ; Abbey et al, 1995 ; Burnett et al, 1999 et Stieb et al, 2000**). Selon les études épidémiologiques, 1 à 3 points de quotient intellectuel sont perdus pour une augmentation de la plombémie de 100 à 200 µg/l. Une baisse des facultés verbales, perceptivo-motrices et de la motricité globale ainsi que des troubles d'acquisitions scolaires et du comportement sont le plus souvent rencontrés. L'accroissement des risques de pollution environnementale par le plomb suscite de légitimes inquiétudes, la nocivité de ce métal ne faisant pas de doute à des doses élevées et pouvant être suspectée à des doses plus modestes. La surveillance des populations doit permettre, le cas échéant, de détecter de nouvelles zones géographiques présentant un risque d'exposition au plomb pour les populations.

III-1-1-2- Les teneurs en Zinc durant les deux saisons :

III-1-1-2-1- La saison d'Hiver :

Le test de l'analyse de la variance à un seul facteur, effectué sur les valeurs de concentration de zinc dans les stations échantillonnées, indique une différence hautement significative ($F_{obs} = 8.16 > F_{th} 1.86$ à $\alpha = 1\%$). Les concentrations en zinc diffèrent d'une station à une autre (figure n° 25).

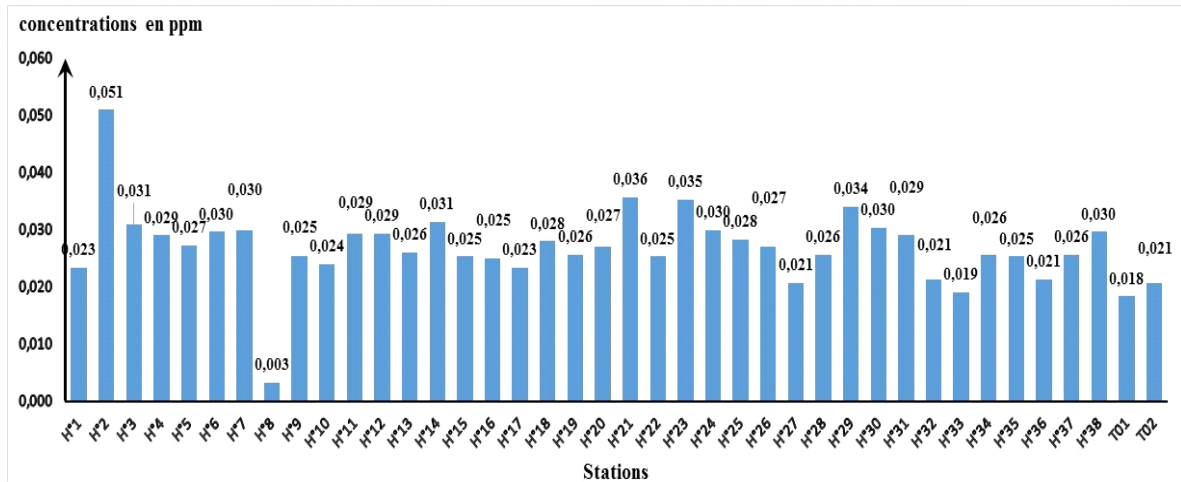


Figure n° 25: Histogramme des concentrations moyennes en Zinc mesurées durant la saison d'hiver.

Nous remarquons que les teneurs en Zinc qui est un élément essentiel à la vie biologique, mais il peut devenir toxique au delà d'une certaine concentration (**Legret et al, 1988; Walter et al, 1999**) durant la période d'hiver sont variables d'une station à une autre. Cela dit la différence de ces concentrations n'est pas très importante comme le montre la figure n° 25.

III-1-1-2-2-La saison d'Eté :

La comparaison des concentrations du zinc est réalisée par une analyse de la variance à un seul facteur (station). La différence est hautement significative ($F_{obs} = 70.12 > F_{th} 1.86$ à $\alpha = 1\%$). Les valeurs moyennes, par station échantillonnée, sont illustrées dans la figure n° 26.

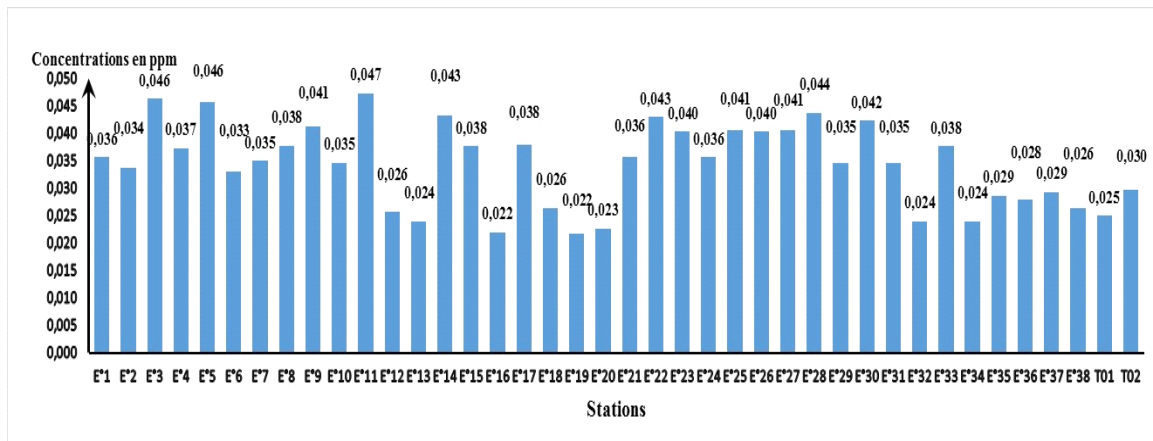


Figure n° 26: Histogramme des concentrations moyennes en Zinc mesurées durant la saison d'Eté.

L'histogramme ci-dessus révèle que le taux d'accumulation du Zinc en été est élevé dans la majorité des sites échantillonnés.

L'étude de la rétention des apports de polluants, au sein des matrices thallées, déjà transplantées sur site, a mis en évidence leur forte capacité de rétention des métaux et a permis d'approcher les mécanismes majoritaires mis en cause lors de la fixation possible de tel élément comme le Zinc grâce au suivi dynamique de la composition, et la spéciation des polluants étudiés (Edwards, 1983).

III-1-1-2-3-Comparaison des concentrations de zinc des saisons d'Hiver et d'Eté :

Elle est réalisée par une analyse de la variance à deux facteurs (stations, saisons). Les résultats du test statistique appliqué indiquent respectivement une différence hautement significative entre les saisons ($F_{\text{obs}} = 354.92 > F_{\text{th}} = 6.80$ à $\alpha = 1\%$) et les stations ($F_{\text{obs}} = 17.90 > F_{\text{th}} = 1.73$ à $\alpha = 1\%$). L'interaction, mesurant la dépendance réciproque des stations et des saisons, est positive ($F_{\text{obs}} = 14.02 > F_{\text{th}} = 1.73$ à $\alpha = 1\%$). La figure n° 27 représente les valeurs moyennes des concentrations de zinc enregistrées dans les stations échantillonnées à l'intérieur de la ville de Sidi Bel Abbès.

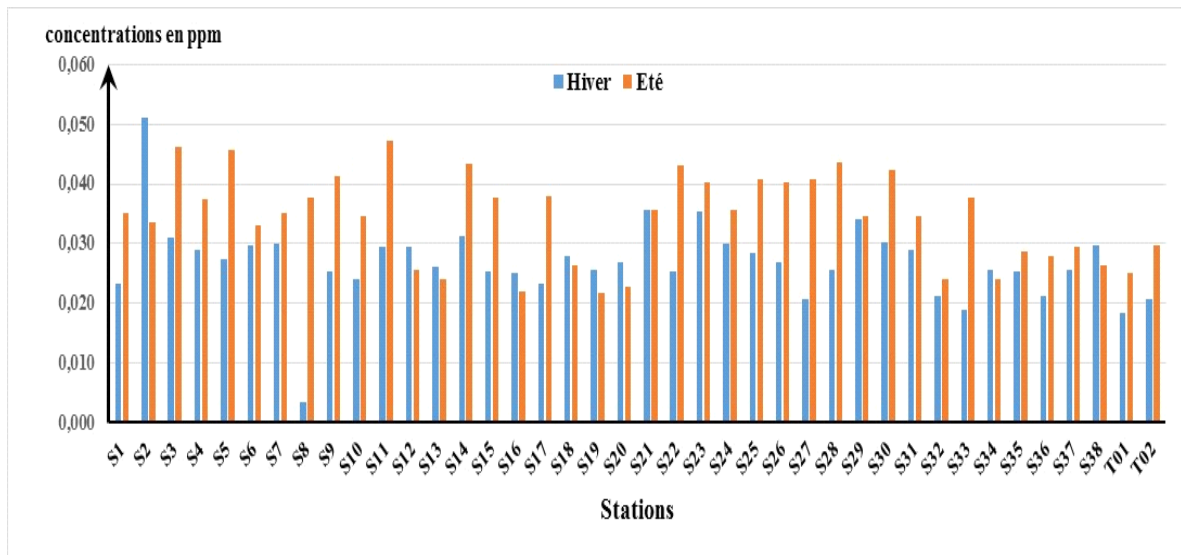


Figure n° 27: Histogramme des concentrations moyennes de Zinc mesurées durant les saisons d'Hiver et d'Eté.

Selon les données analytiques, nous constatons que le lichen *Xanthoria parietina* (L.) présente une grande similitude dans la variation progressive de la bioaccumulation des polluants métallique au cours du temps. Elle est beaucoup moins accentuée durant la période d'hiver est plus forte durant la période estivale de l'échantillonnage. En effet, la période humide est caractérisée par une forte pluviométrie et par la fréquence des vents assez importante. La pluviométrie serait d'une part à l'origine de l'épuration de l'atmosphère et d'autre part favorise le lessivage de tous les polluants du thalle des lichens. Le vent a joué un rôle de transport et de diffusion des polluants hydrocarbonés loin de la source d'émission (Fadel et al, 2009).

III-2- Dispersion des concentrations de plomb et de Zinc dans les différentes stations :

III-2-1- Dispersion du Plomb :

III-2-1-1- La saison d'hiver :

L'analyse statistique effectuée sur les concentrations de plomb par l'utilisation de la classification hiérarchique ascendante (C.A.H) a permis de regrouper les stations d'échantillonnage en classes. Les concentrations en plomb accumulées par le lichen *Xanthoria parietina* (L.) sont présentées dans le tableau n°09 sous forme de classes.

Les lichens sont d'excellents bio-accumulateurs, les résultats obtenu de l'accumulation par *Xanthoria parietina* (L.), montre que cette dernière est caractérisée par un pouvoir accumulateur très élevé sachant que le temps d'exposition n'a pas été très long (1 mois) pour les deux saisons. Il est vrai que les lichens présentent des particularités morphologiques et structurales auxquelles ils doivent ce pouvoir accumulateur de choix, n'ayant ni racines ni tiges, ni feuilles, ni appareil conducteur, ils sont capables d'effectuer une régulation hydrique, ils sont soumis aux fluctuations du milieu, absorbent sans distinction des quantités importantes de substances prélevées dans l'atmosphère (Ceburnis et Valiulis,1999; Zambrano et Nash III, 2000).Quant au pouvoir d'accumulation des autres végétaux

supérieurs, il reste en fonction de la morphologie de la plante, de l'épaisseur cuticulaire au niveau des feuilles, ainsi que de l'âge des feuilles (Hellman et al., 2000; Fornasiero, 2001).

Tableau n°09 : Répartition en classes et sous classes des stations en fonction des valeurs des concentrations de Plomb traitées par une classification hiérarchique ascendante (saison d'hiver) :

Classes	Intervalles Unité <u>ppm</u> (partie pour <u>million</u>)	Nombre de stations	Stations
Classe 1	1.20 ±1.10 et 1.26±0.15	02	H°14/H°38
Sous classe 1/1	1.26±0.11 et 1.30±0.10	03	H°3/ H°31/ H°35
Sous classe 1/2	0.36±0.20 et 1.06±0.30	33	De H°34 à H°1
Sous classe 1/2/1	0.73±0.11 et 1.06±0.30	29	H°34 / H°25/ H°23/ H°7/ H°29/ H°9/ H°8/ H°5/ H°27/ H°33/ H°24/ H°21/ H°13/ H°20/ H°16/ H°32/ H°28/ H°17/ H°11/ H°15/ T01/ H°36/ T02/ H°12/ H°10/ H°30/ H°19/ H°18/ H°4
Sous classe 1/2/2	0.36±0.10 et 0.46±0.20	03	H°2/ H°22/ H°6/ H°1
Classe 2	1.06 ±0.20 et 1.16±0.20	02	H°37/ H°26

Les intervalles, appelés aussi classes, sont obtenus à partir du graphique de la classification hiérarchique ascendante (CHA). La finalité de la CHA est le regroupement des stations, selon les concentrations en plomb mesurées, en classes. La lecture du tableau n°09 montre que les valeurs moyennes pour l'ensemble des classes varient de 0.36±0.10 ppm à 1.30±0.10 ppm. Les fortes concentrations de plomb sont enregistrées dans la classe 2. Cette dernière est formée par deux stations H°26 et H°37 ; les teneurs en plomb sont élevées par rapport aux autres classes et dont les valeurs moyennes de concentration sont comprises entre 1.06 ±0.20 ppm et 1.16±0.20 ppm (Belhadj et al, 2015).

La classe 1 regroupe, de façon régressive, les stations où les émissions de plomb sont relativement moins importantes par rapport aux stations de la classe 2. Ses valeurs moyennes sont situées entre 1.20±1.10 ppm et 1.26±0.15 ppm. Elle est subdivisée en deux sous-classes dont la première (S/classe 1/1) est caractérisée par des teneurs en plomb situées entre 1.26±0.11 ppm et 1.30±0.10 ppm ; la seconde (S/classe 1/2), s'est distinguée par des valeurs comprises entre 0.36±0.20 ppm et 1.06±0.30 ppm. La seconde sous-classe s'est ensuite

divisée en deux sous-classes (S/classe 1/2/1 et S/classe 1/2/2). La première sous-classe (S/classe 1/2/1) est identifiée par des teneurs en plomb situées entre 1.06 ± 0.30 ppm et 0.73 ± 0.11 ppm. La deuxième sous-classe (S/classe 1/2/2) est comprise entre 0.36 ± 0.10 ppm et 0.46 ± 0.20 ppm.

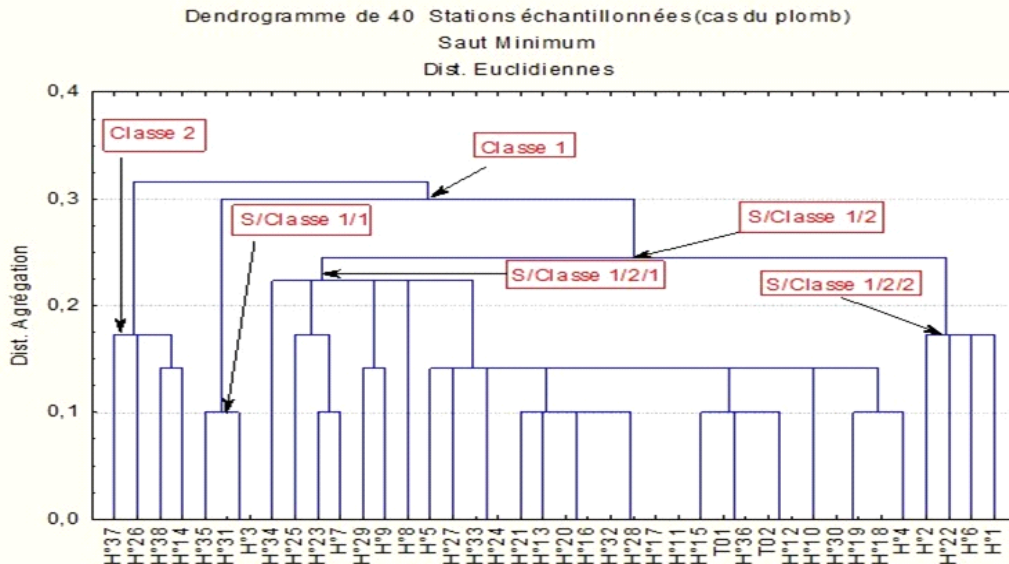


Figure n° 28: Classification hiérarchique ascendante des stations échantillonnées en Hiver.

La figure n°28 rend compte de la répartition des stations, en fonction des concentrations, par classes et sous-classes.

III-2-1-2- la Saison d'été :

L'analyse statistique effectuée sur les concentrations de plomb par l'utilisation de la classification hiérarchique ascendante (C.A.H) durant la saison d'été a permis d'individualiser des classes de stations. Les concentrations en plomb accumulées par le lichen *Xanthoria parietina* (L.) sont présentées dans le tableau n°10 sous forme de classes (Belhadj et al, 2015).

Tableau n° 10 : Répartition en classes et sous classes des stations en fonction des valeurs des concentrations de Plomb traitées par une classification hiérarchique ascendante (saison d'été) :

Classes	Intervalles Unité ppm (partie pour million	Nombre de stations	Stations
Classe 1	7±4	1	E°16
Classe 2	1.30±0.10 et 10.66±2.08	06	De E°11 à E°38
Sous classe 2/1	9.33±0.57 et 10.66±2.08	03	E°38/ E°27/ E°17
Sous classe 2/2	6.66±2.08 et 8.66±1.52	03	E°37/ E°33 /E°11
Sous classe 2/2/1	1.26±0.11et 8.00±1.00	33	De E°1 à E°32
Sous classe 2/2/1/1	1.66±1.15	01	E°32
Sous classe 2/2/1/2	1.26±0.11et 8.00±1.00	32	E°26 / T°02/ E°2/ E°24/ E°31/ E°30/ E°21/ E°14/ E°10/ E°36/ E°6/ E°5/ E°4 /E°34/ E°28/ E°18/ E°8/ E°15/ E°25/ E°20/ E°12/ E°35/ E°9/ E°23/ E°19/ E°7/ E°3/ E22/ T°01 /E°29/ E°13/ E°1

La lecture du tableau montre que les valeurs moyennes pour l'ensemble des classes varient de 1.26±0.11 ppm à 10.66±2.08 ppm. Les fortes concentrations en plomb sont enregistrées dans la classe 2 constituée de six stations ; les teneurs en plomb sont élevées par rapport aux autres classes et dont les valeurs moyennes sont comprises entre 1.30±0.10 ppm et 10.66±2.08 ppm.

La classe 1, regroupe, de façon régressive, les sites où les émissions de plomb sont relativement moins importantes que dans les stations de la classe 2et qui se caractérisent par un trafic routier relativement plus faible (le côté Sud de la ville). Il est important de souligner également que ces sites sont assez ouverts et bénéficient par conséquent d'une relative protection car la circulation de l'air favorise la dispersion des polluants.

La classe 2 compte deux sous classes dont les teneurs en plomb varient de 9.33±0.57 ppm à 10.66±2.08 ppm pour la première sous classe, et de 6.66±2.08 ppm à 8.66±1.52 ppm pour la deuxième sous classe. On note aussi que la deuxième sous classe se divise en une seule sous classe dont les teneurs en plomb varient de 1.26±0.11 ppm et 8.00±1.00 ppm. Cette dernière est divisée en deux autres sous classes dont les teneurs en plomb sont situées entre 1.66±1.15 ppm et 8.00±1.00 ppm.

Les teneurs en plomb sont plus élevées que celles des lichens témoins (0,018333±0,001528 ppm avec valeur extrêmes 0,020667 ppm). Des études montrent que le taux moyen du plomb contenu dans les thalles de *Ramalina farinacea*, transplantés et récoltés dans la région d'Annaba (Algérie) à 5 m de la chaussée, est de l'ordre de 60 ppm (µg/g) (transplantation pendant 1 mois). Ces résultats montrent donc que *Xanthoria parietina* (L.) accumule beaucoup plus le plomb que *Ramalina farinacea* (Semadi , Deruelle , 1993).

La valeur moyenne enregistrée dans la classe 1 est de 7 ± 4 . La représentation graphique obtenue, suite à l'application de la classification hiérarchique ascendante (C.A.H) aux données de la saison d'été, a permis de distinguer les différentes classes et sous-classes (figure n° 29).

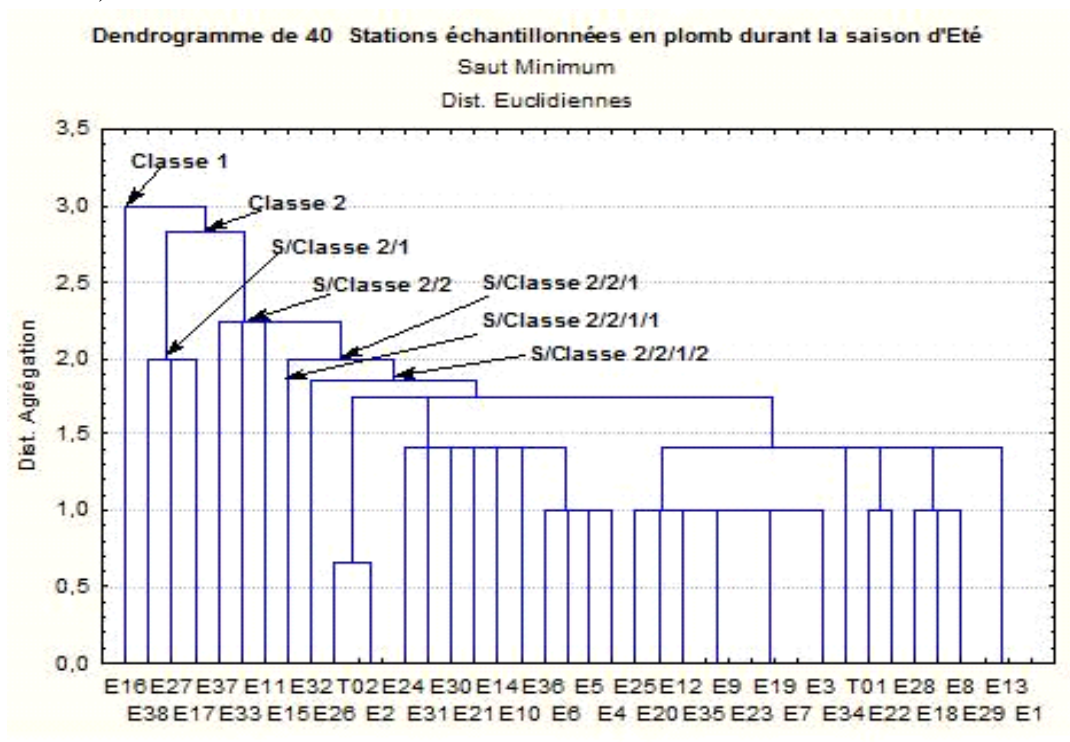


Figure n° 29: Classification hiérarchique ascendante des stations échantillonnées en Eté.

Ces observations montrent également que les retombées atmosphériques liées au trafic routier constituent les principales sources du plomb, sachant que l'apport de ce métal par le sol est nul. Les sites de la classe 2, qualifiés de « points chauds », sont des zones associées à des pentes relativement fortes et soumises à un trafic routier très important ; la pente oblige en effet le moteur à développer plus de puissance et à rejeter plus de polluants (Belhadj et al, 2015).

La présence de voies en pente conduit donc à une augmentation considérable des émissions (Madany et al, 1993). Ces résultats semblent indiquer, dans une première approche, que les concentrations en plomb contribuent à la mauvaise qualité d'air dans ces cités.

D'une manière générale, l'utilisation optimale des végétaux comme moyen d'investigation de la pollution atmosphérique concerne les cas où la voie de contamination par le sol est soit nulle, négligeable ou connue. Le transfert d'un élément trace du sol vers un organe récolté dépend à la fois de paramètres liés au sol et de facteurs propres à la plante. Il résulte en quelque sorte de la rencontre entre l'offre du sol et la demande de la plante, qui ne sont pas totalement indépendantes. C'est pourquoi les végétaux les plus utilisés pour ces études sont les mousses et les lichens grâce, entre autres, à leur absence de système racinaire. Les capacités d'absorption des métaux par les lichens sont directement liées à leurs structures morphologiques et anatomiques. Les lichens accumulent plus de métaux lorsque leurs surfaces lichéniques augmentent (Garty et al, 1996).

À cause de certains traits biologiques (Asta et al, 2003), les lichens ont une réponse relativement rapide vis-à-vis de la détérioration de la qualité de l'air et sont extrêmement sensibles à d'autres types d'altérations environnementales comme les changements climatiques et l'eutrophisation (Galun, 1988).

III-2-2- dispersion du Zinc :

III-2-2-1- La saison d'hiver :

L'application du test statistique de la classification hiérarchique ascendante (C.A.H) aux données sur les concentrations de zinc a permis de regrouper les stations d'échantillonnage en classes. Les concentrations en zinc accumulées par le lichen *Xanthoria parietina* (L.) sont présentées dans le tableau n° 11 sous forme de classes et sous-classes.

Tableau n° 11 : Répartition en classes et sous classes des stations en fonction des valeurs des concentrations de zinc traitées par une classification hiérarchique ascendante (saison d'hiver) :

Classes	Intervalles Unité ppm (partie pour million)	Nombre de stations	Stations
Classe 1	0.051±0.011	01	H°2
Classe 2	0.0033±0.00057 et 0.035±0.00057	39	de H°8 à H°1
Sous classe 2/1	0.0033±0.0.00057	01	H°8
Sous classe 2/2	0.018±0.00015 et 0.035±0.00057	38	De H°29 à H°1
Sous classe 2/2/1	0.018±0.0015 et 0.035±0.00057	37	H°29/ H°23/ H°21/ H°36/ H°32/ T01/ H°33/ H°27/ T02/ H°12/ H°31/ H°26/ H°15/ H°20/ H°22/ H°17/ H°10/ H°37/ H°19/ H°35 / H°16/ H°9/ H°24/ H°7/ H°25/ H°4/ H°34 / H°28/ H°13/ H°18 / H°5/ H°38/ H°6/ H°11/ H°30/ H°14/ H°3/
Sous classe 2/2/2	0.023±0.017	01	H°1

La lecture du tableau montre que les valeurs moyennes de la teneur en Zinc pour l'ensemble des stations varient de 0.0033±0.00057 à 0.051±0.011 ppm.

On distingue deux classes importantes :

- Classe (01), dont les teneurs en Zinc sont de 0.051±0.011, est formée par une seule station (H°2).
- La classe (02) regroupe les sites où les émissions en Zinc sont relativement moins importantes que celles de la classe (01) ; les valeurs moyennes enregistrées vont de 0.0033±0.00057 à 0.035±0.00057. Elle est constituée par deux sous-classes :

- la sous-classe 2/1, dont les teneurs en Zinc sont de 0.0033 ± 0.00057 , cette sous classe est formée par une seule station (H°8).
- la sous-classe 2/2, dont les teneurs en Zinc vont de 0.018 ± 0.00015 à 0.035 ± 0.00057 , est subdivisée en deux sous-classes :
 - La première sous-classe 2/2/1 comporte la majorité des stations avec 38 sites et dont les valeurs moyennes de concentration en Zinc sont de 0.018 ± 0.0015 et 0.035 ± 0.00057 .
 - La deuxième sous-classe 2/2/2, dont la teneur en Zinc est de 0.023 ± 0.017 , est représentée par une seule station H°1.

La figure n°30 permet de visualiser la répartition des stations, en fonction des concentrations, par classes et sous-classes.

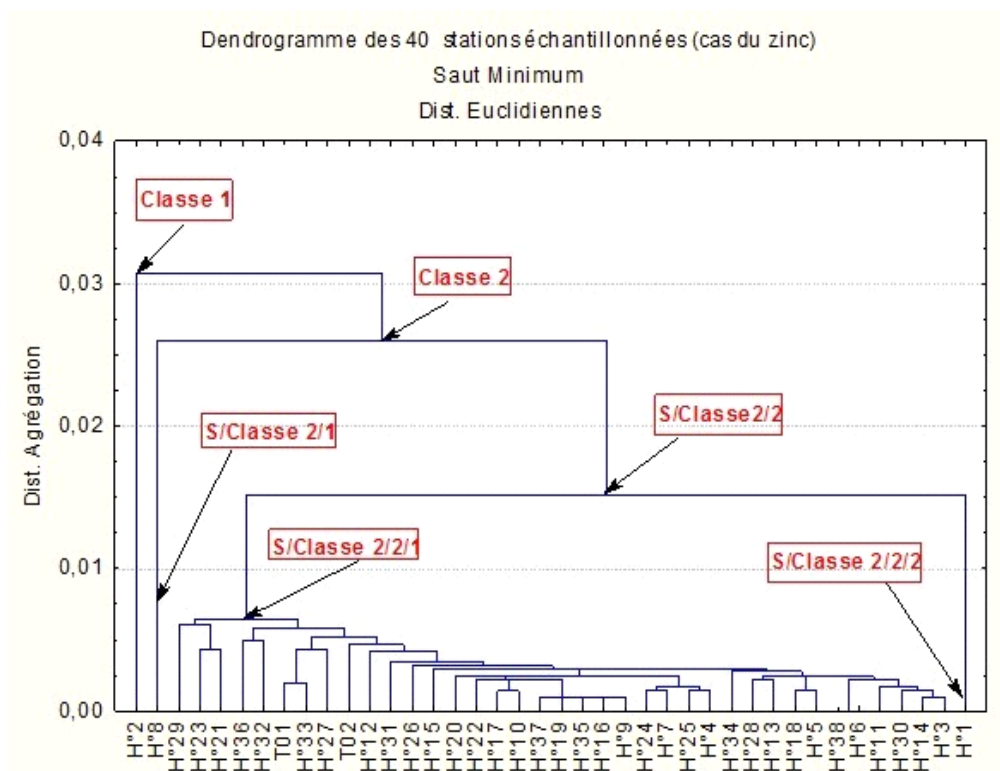


Figure n°30: Classification hiérarchique ascendante des stations échantillonnées en Hiver.

III-2-2-2- La saison d'été :

L'analyse statistique effectuée sur les concentrations de zinc par l'utilisation de la classification hiérarchique ascendante (C.A.H) durant la saison d'été a permis d'individualiser des classes de stations. Les concentrations en zinc accumulées par le lichen *Xanthoria parietina* (L.) sont présentées dans le tableau n°12 sous forme de classes.

Tableau n° 12 : Répartition en classes et sous classes des stations en fonction des valeurs des concentrations de zinc traitées par une classification hiérarchique ascendante (saison d'été).

Classes	Intervalles Unité ppm (partie pour million)	Nombre de stations	Stations
Classe 1	0,021667 ± 0,000577 et 0,029667 ± 0,001155	12	E°12, E°38, E°37, T02, E°35, E°36, E°20, E°19, E°16, E°18, T01 et E°32
Sous-classe 1/1	0,025667 ± 0,005508	1	E°12
Sous-classe 1/2	0,021667 ± 0,000577 et 0,029667 ± 0,001155	11	E°38, E°37, T02, E°35, E°36, E°20, E°19, E°16, E°18, T01 et E°32
Sous-classe 1/2/1	0,026333 ± 0,003055	1	E°38
Sous-classe 1/2/2	0,028667 ± 0,001528 et 0,029667 ± 0,001155	3	E°37, T02 et E°35
Sous-classe 1/2/3	0,021667 ± 0,000577 et 0,028667 ± 0,001528	7	E°36, E°20, E°19, E°16, E°18, T01 et E°32
Classe 2	0,026333 ± 0,000577 et 0,047300 ± 0,000300	24	E°27, E°26, E°25, E°30, E°22, E°28, E°14, E°9, E°11, E°5, E°3, E°33, E°17, E°15, E°18, E°4, E°6, E°2, E°24, E°21, E°31, E°29, E°7 et E°1
Sous-classe 2/1	0,040333 ± 0,001528 et 0,047300 ± 0,000300	11	E°27, E°26, E°25, E°30, E°22, E°28, E°14, E°9, E°11, E°5 et E°3
Sous-classe 2/1/1	0,040333 ± 0,001528 et 0,043333 ± 0,001155	8	E°27, E°26, E°25, E°30, E°22, E°28, E°14 et E°9
Sous-classe 2/1/2	0,045667 ± 0,001528 et 0,047300 ± 0,000300	3	E°11, E°5 et E°3
Sous-classe 2/2	0,026333 ± 0,000577 et 0,038000 ± 0,001000	13	E°33, E°17, E°15, E°18, E°4, E°6, E°2, E°24, E°21, E°31, E°29, E°7 et E°1
Sous-classe 2/2/1	0,026333 ± 0,000577 et 0,038000 ± 0,001000	5	E°33, E°17, E°15, E°18 et E°4
Sous-classe 2/2/2	0,033000 ± 0,001000 et 0,035667 ± 0,002082	8	E°6, E°2, E°24, E°21, E°31, E°29, E°7 et E°1

La lecture du tableau montre que la classe 01 est constituée de deux sous-classes. La première sous-classe 1/1 est représentée par une seule station (E°12) dont la teneur en Zn est de $0,025667 \pm 0,005508$. La deuxième sous-classe 1/2 est formée par onze (11) stations, dont les valeurs moyennes respectives minimale et maximale sont de l'ordre de $0,021667 \pm 0,000577$ et $0,029667 \pm 0,001155$. Elle est constituée par trois autres sous-classes 1/2/1 (E°38), 1/2/2 (E°37, T02 et E°35) et 1/2/3 (E°36, E°20, E°19, E°16, E°18, T01 et E°32).

La deuxième classe est formée par deux sous-classes. Elle est composée de 24 stations dont les valeurs des concentrations sont comprises entre $0,026333 \pm 0,000577$ et $0,047300 \pm 0,000300$. Les deux sous-classes 2/1 et 2/2 sont aussi divisées en deux sous-classes. La sous-classe 2/1 est composée de onze (11) stations dont les valeurs de concentration du zinc sont

comprises entre $0,040333 \pm 0,001528$ et $0,047300 \pm 0,000300$. La sous-classe 2/2 est formée par treize (13) stations et les intervalles sont de l'ordre de $0,026333 \pm 0,000577$ et $0,038000 \pm 0,001000$.

Nous remarquons toujours que les concentrations enregistrées dans les sites urbains sont largement supérieur aux témoins dont la valeur moyenne ne dépasse pas $0,020667 \pm 0,002082$ ppm.

La figure n°31 permet de visualiser la répartition des stations, en fonction des concentrations, par classes et sous-classes.

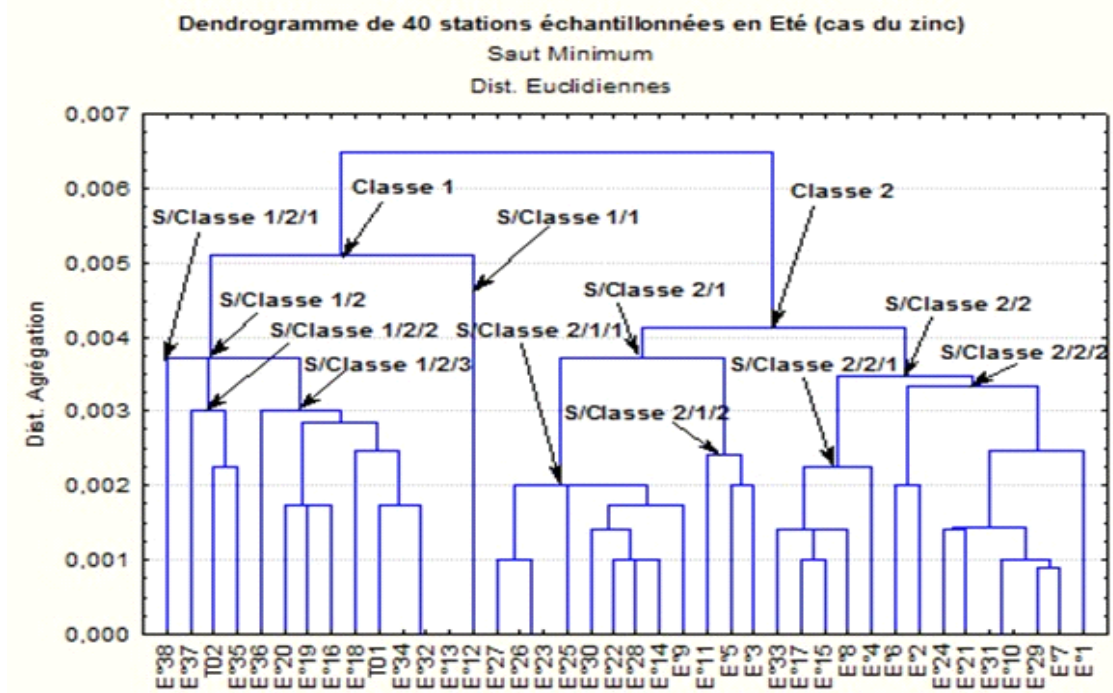


Figure n° 31 : Classification hiérarchique ascendante des stations échantillonnées en Été.

La capacité d'absorbance des deux éléments traces métallique dans les thalles du lichen semble avoir un effet d'antagonisme car une augmentation progressive du Pb influe directement sur l'accumulation du Zn dans les thalles du *Xanthoria parietiena* (L.) (Edwards et al, 1983).

III-3- Analyse en composantes principales des stations échantillonnées :

III-3-1- Pour le Plomb :

III-3-1-1- En saison d'hiver :

Les concentrations en Plomb enregistrés dans les thalles de *Xanthoria parietiena* (L.) dans la ville de Sidi Bel Abbés ont fait l'objet d'une analyse en composante principale (ACP), afin décrire les relations entre les teneurs en Pb et les sites de prélèvements.

Les observations (ou individus) correspondent aux 40 points de prélèvements qui peuvent être représentées sur les axes factoriels.

L'extraction de 02 deux facteurs a été menée dans cette analyse avec une contribution de 73.16 % pour le facteur 01, tandis que une contribution de 26.84 % pour le facteur 02.

La projection de l'ensemble des stations dans le cercle de corrélation ($F1 \times F2$) (Voir annexe 4) a permis d'identifier 5 groupes bien distincts (figure n°32).

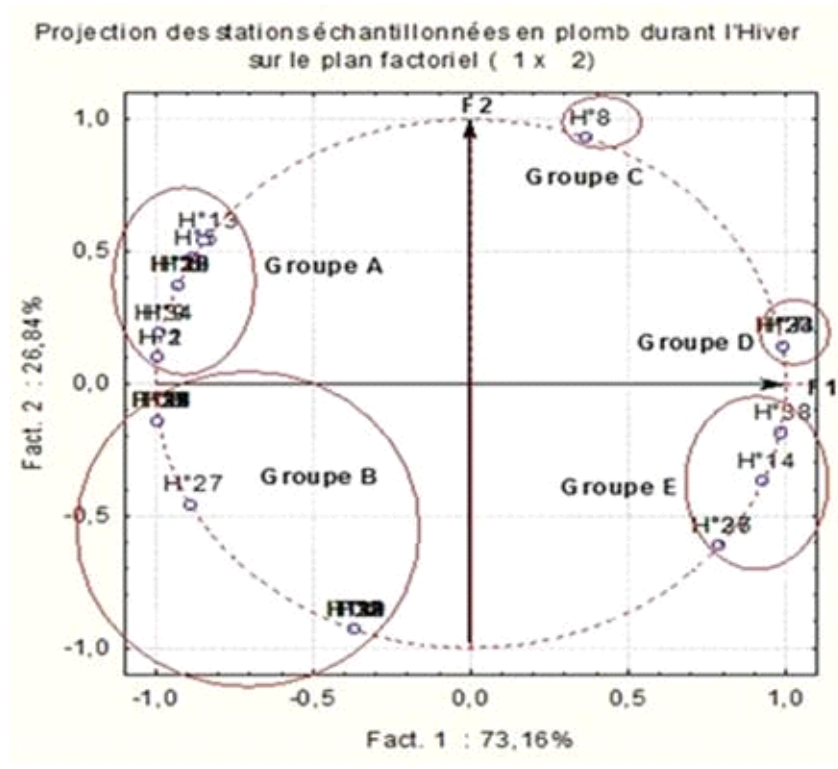


Figure n°32 : Projection des stations échantillonnées en Hiver dans le cercle de corrélation.

- du côté négatif, on distingue deux groupes :
 - Groupe A** : est constitué H°13, H°2,
 - Groupe B** : est formé par H°27.
- du côté positif du plan factoriel, on individualise trois groupes dont les concentrations en plomb sont importante :
 - Groupe C** : comporte une seule station H°8 dont la teneur en plomb est de 1.06 ppm,
 - Groupe D** : est constitué par la station H°23 dont la teneur en plomb est de 0.53 ppm,
 - Groupe E** : trois stations sont regroupées dans ce groupe H°14/H°38 /H°26.

III-3-1-2- En saison d'été

La projection de l'ensemble des stations sur le plan factoriel (1×2) a permis d'identifier 7 groupes bien distincts (figure n°33).

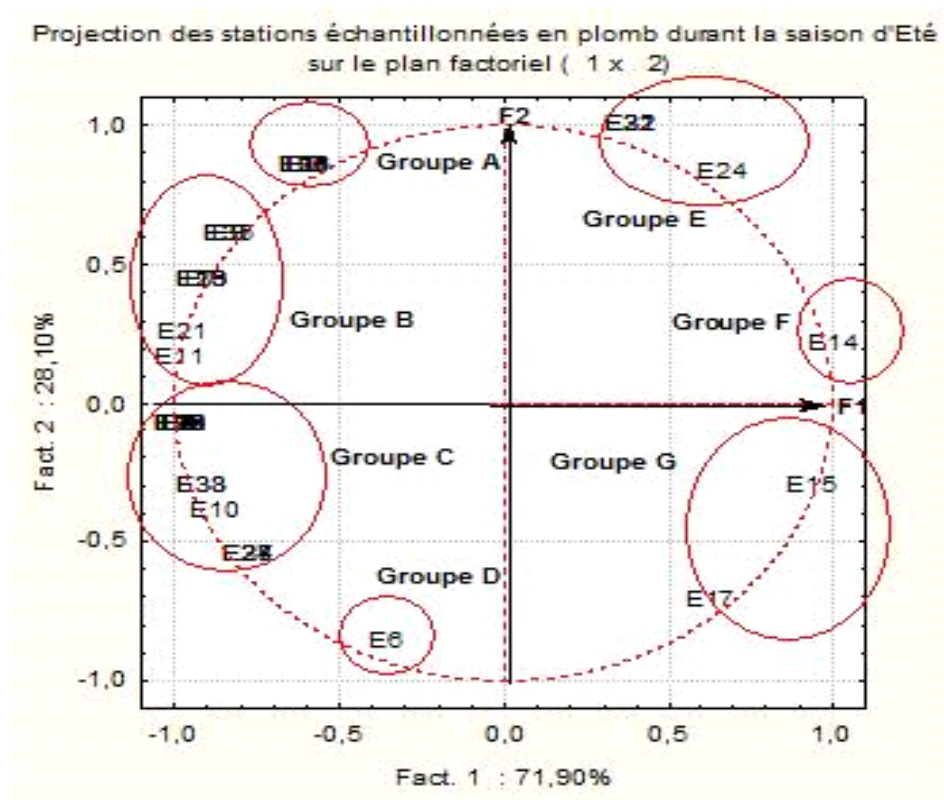


Figure n° 33 : Projection des stations échantillonnées en Eté dans le cercle de corrélation.

- du côté négatif, on distingue quatre groupes A, B, C et D
 - Groupe A** : est formé par les stations E3, E18, E20, E36 et T01,
 - Groupe B** : est constitué par les stations E7, E9, E11, E16, E19, E21, E23, E35 et E37,
 - Groupe C** : est composé des stations E6, E27, E28, E29, E30, E33, E34, E38 et T02,
 - Groupe D** : réunit les stations E1, E2, E4, E5, E8, E10, E12, E13, E25 et E26 .
- du côté positif du plan factoriel, trois groupes sont individualisés dont les concentrations en plomb sont importantes :
 - Groupe E** : comporte trois stations E24, E 31 et E32,
 - Groupe F** : est constitué par une seule station E14,
 - Groupe G** : est formé par les stations E17 et E15.

En Algérie, l'adjonction du plomb dans l'essence est de 0,45 g/l (**Semadi et Deruelle, 1993 ; Maatoug et al, 2007**). 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 % (**Deletraz : 2002**). Les végétaux sont utilisés, non seulement pour l'observation des symptômes d'attaque qu'ils manifestent, mais encore comme collecteurs de poussières (**Ozenda, 1982**). L'utilisation des thalles du lichen *Xanthoria parietina*, dans la quantification du plomb émis par les véhicules, a révélé des résultats très intéressants. Les concentrations de plomb atmosphérique est variable d'une saison à une

autres (Rabinowitz et Needleman, 1982 ; Schell et al, 1997). La saison d'Hiver, où la concentration du plomb atmosphérique varie de 0.36 ± 0.10 ppm à 1.30 ± 0.10 ppm, enregistre de faibles valeurs. Elles sont dues essentiellement aux conditions météorologiques caractérisées par des taux pluviométriques élevés et des vents assez importants. Ces deux paramètres ont tendances à disperser les éléments fins et les entrainer vers le sol par les eaux pluviales. La saison d'Eté, où la concentration du plomb varie de 1.26 ± 0.11 ppm à 10.66 ± 2.08 ppm, plus sèche et très peu ventée, est très favorable à la suspension des particules fines de plomb dans l'atmosphère. Ceci rejoint les travaux de (Diop et Sagna (2011) ; Sivertsen (2011) où les quartiers exposés aux vents sont moins pollués que d'autres.

III-3-2- Pour le Zinc :

III-3-2-1- En saison d'hiver :

Les concentrations en Zinc, déterminées à partir des thalles de *Xanthoria parietina* (L.) transplantés dans les arbres du réseau routier urbain de la ville de Sidi Bel Abbès, ont fait l'objet d'une analyse en composantes principales (figure n°34).

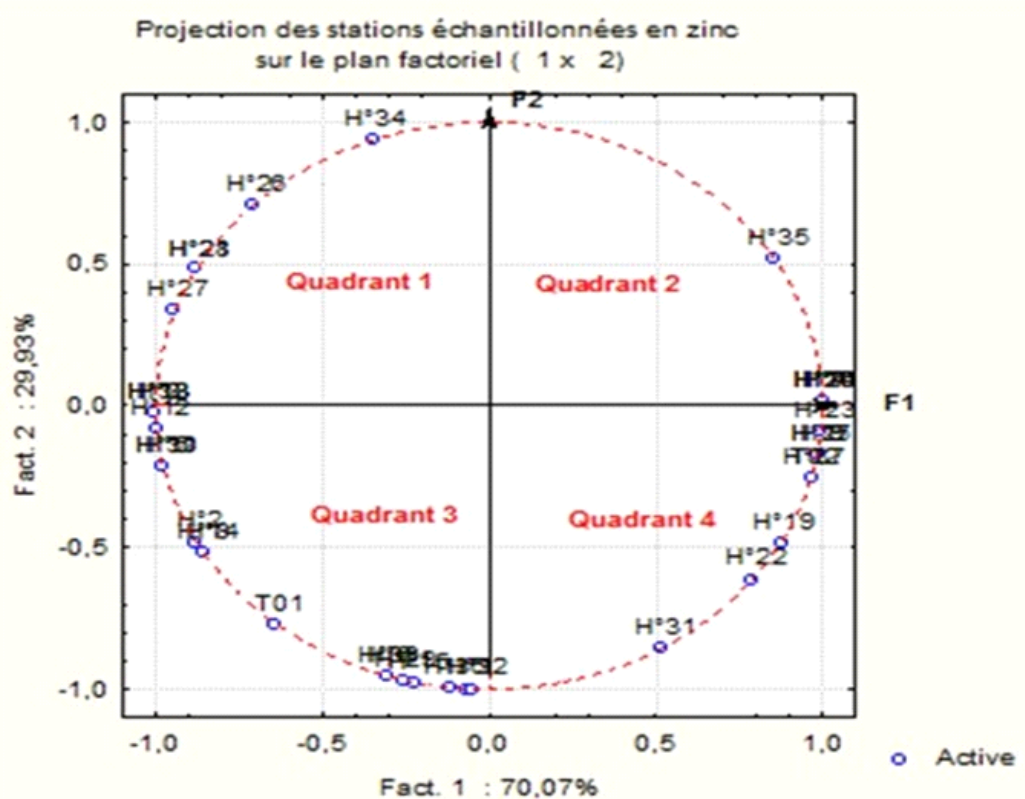


Figure n°34: Projection des stations échantillonnées en Hiver dans le cercle de corrélation.

La projection des quarante stations dans le cercle de corrélation a permis de constater :

- du côté négatif,
 - ❖ Le quadrant 1, qui est constitué d'un ensemble de stations pouvant être énumérées comme-suit : H°34, H°28, H°27, H° 26, H°21 et H°2.

- ❖ Le quadrant 2, s'opposant au quadrant 1 par l'axe F2, est formé par six stations (H°35, H°4, H°7, H°10, H°16 et H°24).
- du coté positif,
 - ❖ Le quadrant 3 regroupe les stations suivantes : H°1, H°3, H°5, H°6, H°8, H°11, H°12, H°13, H°14, H°15, H°18, H°29, H°30, H°32, H°33, H°36, H°38 et T01.
 - ❖ Le quadrant 4, opposé au quadrant 2 par l'axe F1 est formé par les stations suivantes : H°9, H°17, H°19, H°22, H°23, H°25, H°31, H°35, H°37 et T02.

III-3-2-2-En saison d'été :

La projection de l'ensemble des stations sur le plan factoriel (1×2) est illustrée par la figure n° 35.

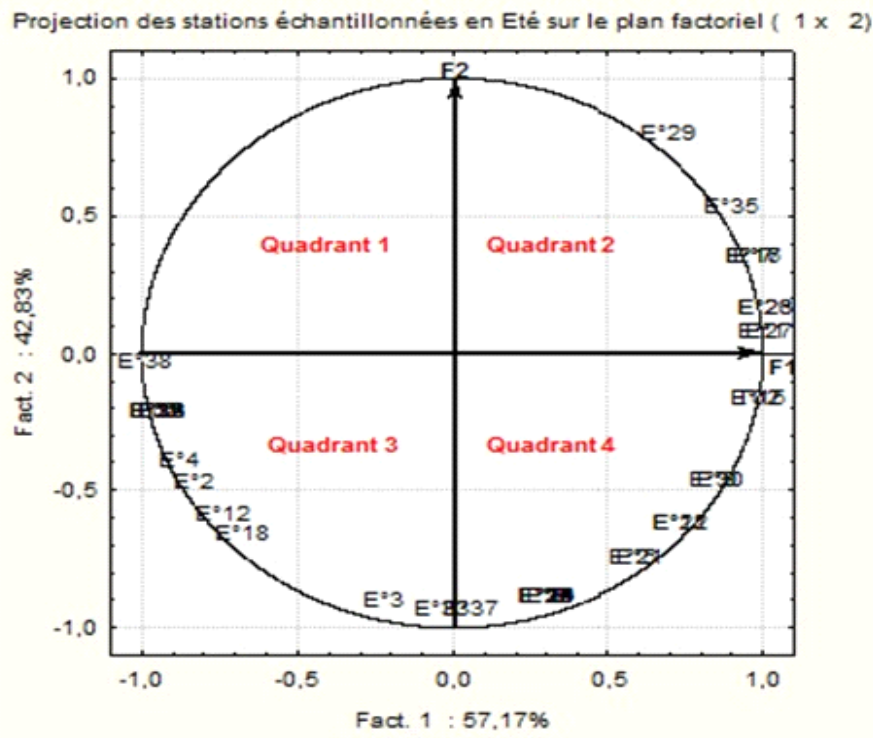


Figure n° 35: Projection des stations échantillonnées en Eté dans le cercle de corrélation.

La répartition des stations dans les quatre (4) quadrants du cercle de corrélation est comme-suit :

- Le quadrant 2 regroupe les stations suivantes : E°1, E°7, E°16, E°17, E°23, E°26, E°27, E°29 et E°35.
- Le quadrant 3 est formé par treize stations (E°2, E°3, E°4, E°6, E°12, E°13, E°18, E°32, E°33, E°34, E°36, E°38 et T01)
- Le quadrant 4 est formé par les stations suivantes : E°5, E°8, E°9, E°10, E°11, E°14, E°15, E°19, E°20, E°21, E°22, E°24, E°24, E°25, E°28, E°30, E°31, E°37 et T02.

III-4- Analyse en composantes principales des saisons d'échantillonnage en fonction des concentrations :

III-4-1-Analyse en composantes principales des saisons d'échantillonnage en fonction des concentrations de plomb :

La projection des saisons d'échantillonnage sur le plan factoriel (1x2) a permis d'identifier 2 groupes bien distincts (figure n°36).

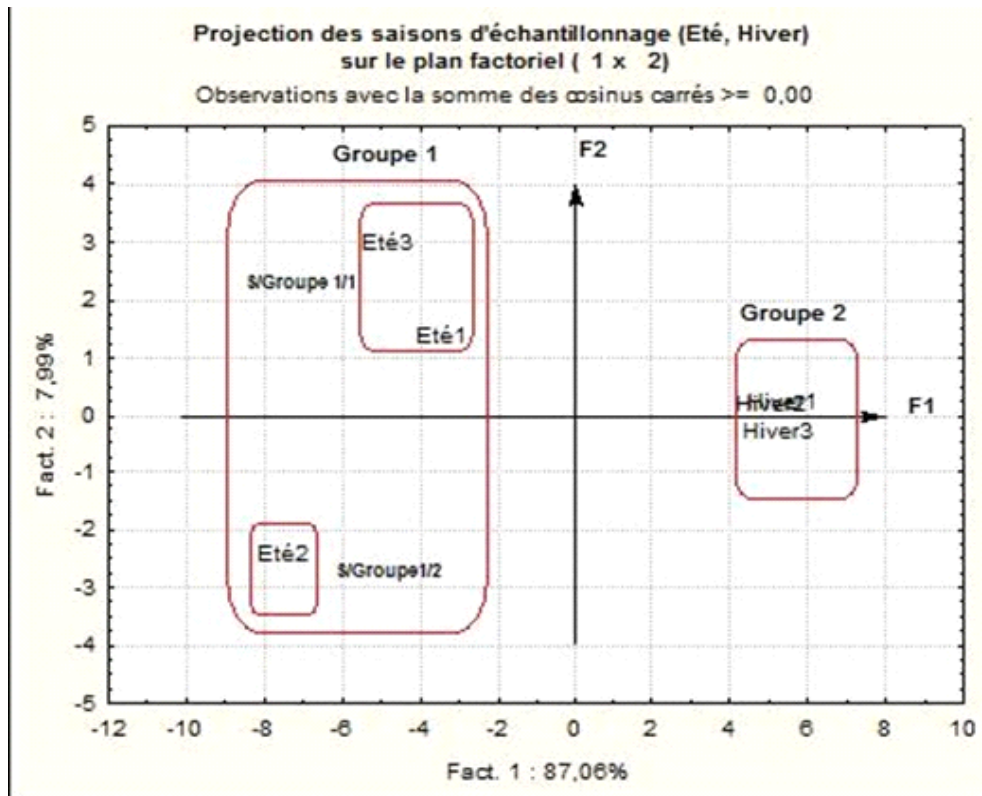


Figure n°36: Projection des saisons d'échantillonnage (Eté, Hiver) dans le plan factoriel F1xF2.

La projection des saisons (Eté, Hiver), dans le plan factoriel F1xF2, a révélé deux groupes bien distincts. Le groupe 1 s'oppose au groupe 2 par l'axe vertical F2. Il est à son tour divisé en deux sous-groupes par l'axe factoriel F1. Le sous-groupe 1/1 rassemble Eté1 et Eté3 en fonction de leurs concentrations moyennes respectives (4,430 ppm, 4,880 ppm). Le sous-groupe 1/2 est formé par Eté2 dont la concentration moyenne est de 5,810 ppm.

Le groupe 2 compte les éléments Hiver1, Hiver2 et Hiver3. Les concentrations moyennes respectives sont de l'ordre de 0,840 ppm, 0,923 ppm et 0,838 ppm. Elles ne dépassent pas l'unité contrairement à celles du groupe 1 où les concentrations en plomb avoisinent les 5 ppm. Les concentrations en plomb enregistrées en été sont cinq fois plus élevées que celles de la saison d'Hiver.

Les principaux polluants métalliques émis, en milieu routier, sont issues des carburants, des pneus, des garnitures et des freins (Pagotto, 1999 ; Deletraz, 2002). 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 moins avancés, en particulier dans les grandes mégapoles des 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).

III-4-2- Analyse en composantes principales des saisons d'échantillonnage en fonction des concentrations de zinc :

La projection des saisons d'échantillonnage sur le plan factoriel (1x2) a permis d'identifier 2 groupes bien distincts (figure n°37).

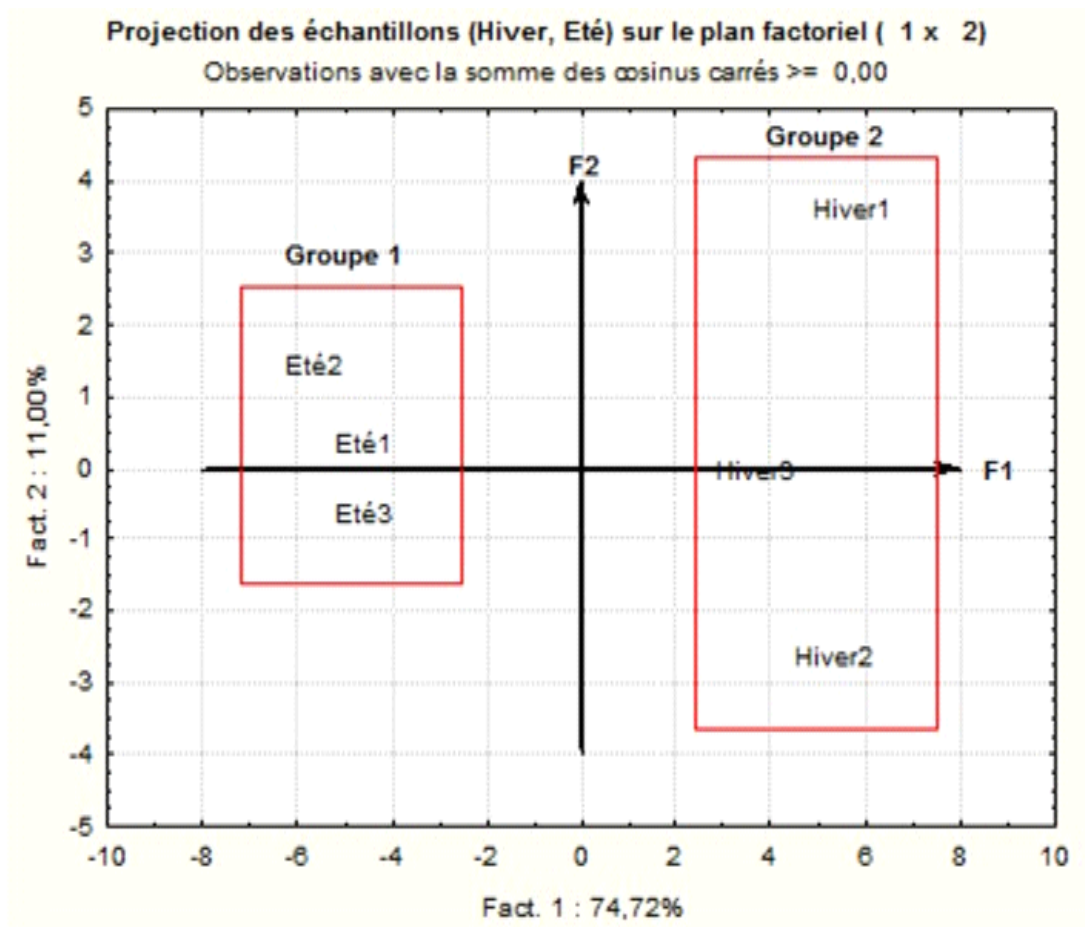


Figure n°37: Projection des saisons d'échantillonnage (Été, Hiver) dans le plan factoriel F1xF2.

La comparaison entre les échantillons pendant les deux saisons par une Analyse Composante Principale (ACP) (voir annexe 5) a permis d'identifier deux importants groupes : Deux groupes s'identifient de part et d'autre de l'axe vertical F₂ :

- Le groupe 1 est composé des échantillons de la saison d'Été (Été1, Été2 et Été3).
- Le groupe 2 est constitué par les échantillons de la saison d'Hiver (Hiver1, Hiver2 et Hiver3).

L'axe horizontal scinde les deux groupes en quatre sous-groupes :

- Le groupe 1 avec Eté3 qui s'oppose à Eté1 et Eté2.
- Le groupe 2 avec Hiver1 qui s'oppose à Hiver3 et Hiver2.

Les concentrations de zinc, en ppm, sont plus importantes en saison d'Eté qu'en saison d'Hiver. La variabilité des concentrations en zinc est appréciable en saison d'Eté. Les fortes concentrations enregistrées en saison d'Eté indiquent des pics d'émission en atmosphère de l'élément zinc.

III-5- Cartographie des concentrations atmosphériques de plomb et de zinc :

La cartographie de la pollution du Plomb et du Zinc, dans la ville de Sidi Bel Abbés a été réalisée par la méthode automatique, interpolation / extrapolation des données in situ de pollution connaissant la mesure de concentration de polluants à certains points à l'aide du logiciel **MapInfo (Voir annexe 6)**.

III-5-1- Cas du plomb :

La distribution du plomb émis par le trafic routier est exprimée dans les cartes des figures n°38 et n°39.

La carte, établie en fonction des concentrations de plomb mesurées durant la saison d'Hiver, indique en moyenne que les sites à fortes valeurs de l'ordre de 1.06 ppm sont très localisés. Les sites dont les valeurs moyennes avoisinant les 0.26 ppm sont assez dispersés dans le réseau urbain de la ville de Sidi Bel Abbés. Les sites, à très faibles valeurs en concentration en plomb atteignant les 0.11 ppm, sont plus représentés dans le tissu urbain de la ville de Sidi Bel Abbés.

Comparée à celle de la saison d'Hiver, la carte de la saison d'été montre que les sites à moyennes concentrations (1.9 ppm) sont plus représentatifs. Ils sont suivis par ceux dont les valeurs moyennes des concentrations de plomb avoisinent les 8.9 ppm. Les sites à très faibles concentrations (0.5 ppm) sont moins représentatifs sur la carte.

La carte de la saison d'été montre que le tissu urbain de la ville de Sidi Bel Abbés est soumis en grande partie à des concentrations de plomb allant de 1.9 ppm à 8.9 ppm. Ces concentrations de plomb sont issues du trafic routier. Ce dernier constitue la première source de pollution atmosphérique dans la ville de Sidi Bel Abbés. Il demeure cependant un problème préoccupant en raison de la pollution par la consommation des carburants plombés et l'usure des pneus, des garnitures et des plaquettes de freins. Le caractère cumulatif du plomb dans l'organisme lui confère une toxicité sournoise à priori irréversible. L'inhalation du plomb contenu dans l'air représente une source modeste. Elle est constamment omniprésente malgré les efforts fournis dans l'extension des espaces verts et les percées technologiques dans la lutte contre la pollution de l'air en milieu urbain.

Le surcroît de la pollution atmosphérique par le Plomb et son impact dépend d'abord, du nombre de véhicules en circulation avec par exemple des niveaux plus forts au moments des heures de pointes de trafic du matin et du soir, sachant que pour l'année 2011 le parc automobile de la wilaya de Sidi Bel Abbés était constitué de **65889** véhicules, dont plus de

38994 sont des voitures particulières. Ce parc n'a pas connu un tel rajeunissement comme ces (3) trois dernières années, selon les rapports de l'Office national des statistiques (ONS, 2014).

Il dépend aussi du type de véhicule où le poids lourds rejette plus de polluants qu'un véhicule léger. En année 2011, l'ensemble des véhicules poids lourds (bus, camions, camionnettes,...) constituait 52% du parc automobile. La même année la consommation de carburants (essence normal, essence super, essence sans Plomb, Gaz oil) a atteint les 212967m³.

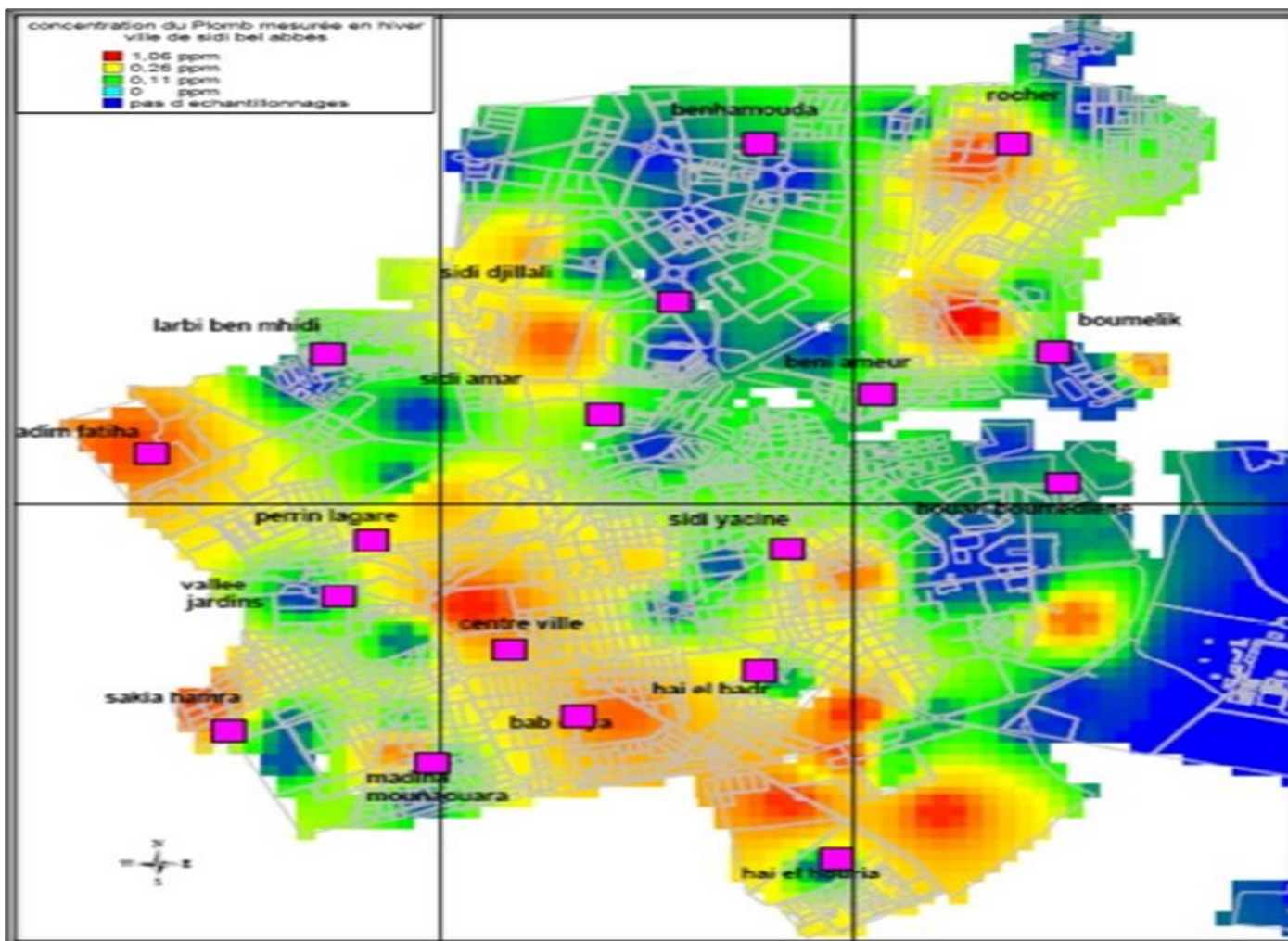


Figure n° 38: Carte des concentrations du plomb en saison d'Hiver dans la ville de Sidi Bel Abbès (Algérie occidentale).

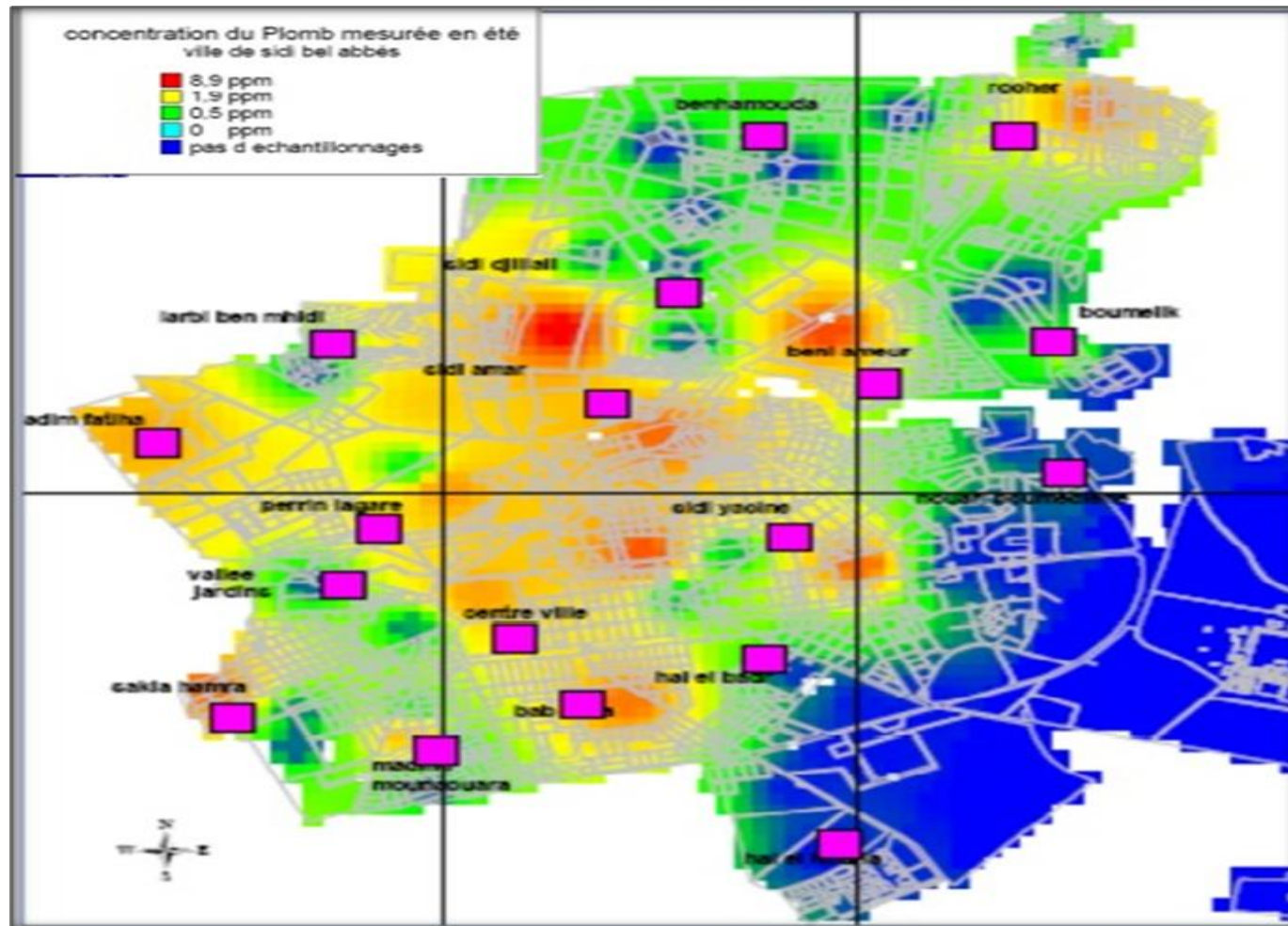


Figure n°39: Carte des concentrations du plomb en saison d'Eté dans la ville de Sidi Bel Abbès (Algérie occidentale).

III-5-2- Cas du zinc :

La distribution du zinc émis par le trafic routier est exprimée dans les cartes des figures n°40 et n°41.

La carte, établie en fonction des concentrations de Zinc mesurées durant la saison d'Hiver, indique en moyenne que les valeurs sont de l'ordre de 0.0035 ppm sont très localisés dans la carte de pollution. Les sites dont les valeurs moyennes avoisinant les 0.0308 ppm sont assez dispersés dans le réseau urbain de la ville de Sidi Bel Abbas. Les sites, à très faibles valeurs en concentration en Zinc atteignant les 0.0011 ppm, sont plus représentés dans le tissu urbain de la ville de Sidi Bel Abbas.

Comparée à celle de la saison d'Hiver, la carte de la saison d'été montre que les sites à moyennes concentrations (0.0049 ppm) sont plus représentatifs. Ils sont suivis par les faibles concentrations en Zinc avoisinant les 0.0006 ppm. Les sites à très fortes concentrations (0.0399 ppm) sont moins représentatifs sur la carte.

La carte de la saison d'été montre que le tissu urbain de la ville de Sidi Bel Abbas est soumis en grande partie à des concentrations de Zinc allant de 0.0006 ppm à 0.0399 ppm. Ces concentrations de Zinc sont issues principalement du trafic routier.

L'évolution permanente du parc automobile notamment avec sa forte diésélisation, les évolutions technologiques et l'augmentation du parc roulant induit des évolutions dans les charges polluantes émises par la route. À titre indicatif, la présence du Zinc émis par le trafic routier est due principalement aux garnitures de freins, pneumatiques et les glissières de sécurité. Par ailleurs, le parc automobile se renouvelle certes, mais 68% à elle seule représente les véhicules âgés de plus de 10 ans. Le parc automobile de la ville de Sidi Bel Abbas est jugé relativement vieux, ce qui porte atteinte à la santé de l'environnement sachant que les véhicules vétustes sont les plus polluants. De plus, l'usage actuel de la climatisation (des véhicules neufs vendus) devrait générer des surémissions de l'ordre de 20%.

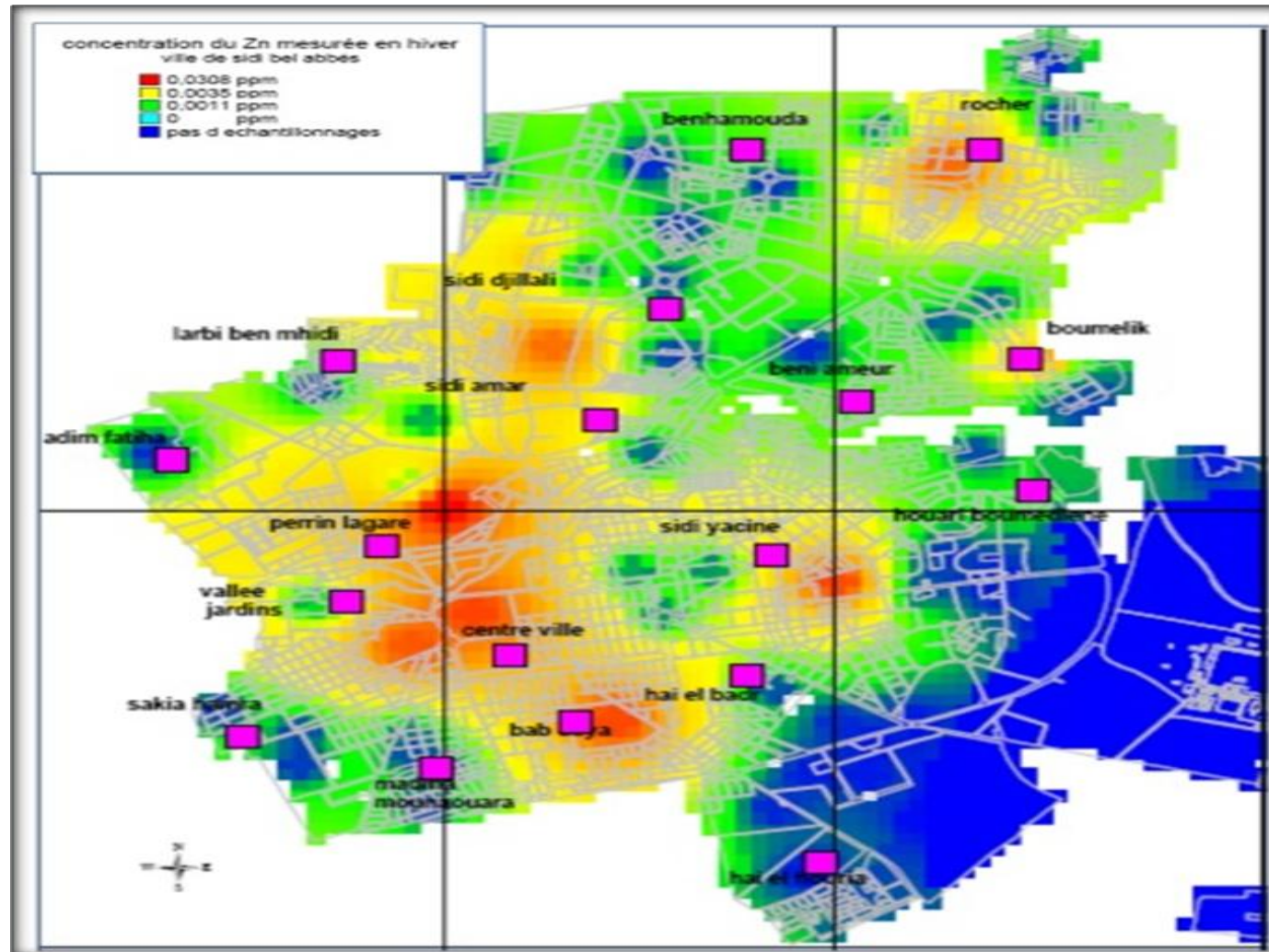


Figure n° 40: Carte des concentrations du zinc en saison d'Hiver dans la ville de Sidi Bel Abbès (Algérie occidentale).

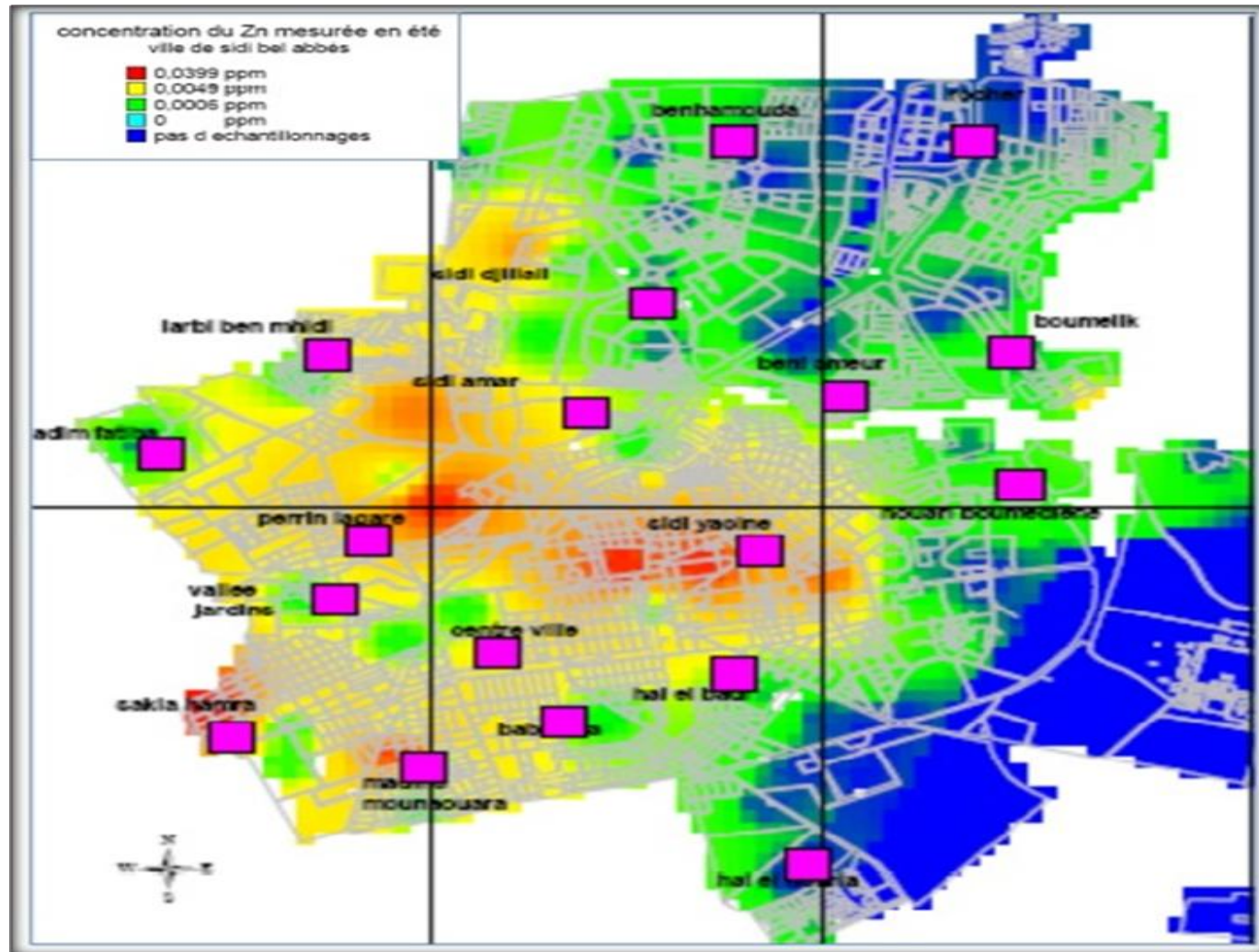


Figure n° 41: Carte des concentrations du zinc en saison d'Eté dans la ville de Sidi Bel Abbès (Algérie occidentale).

CONCLUSION

Conclusion

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons conclure que les travaux décrits dans ce travail montrent que le plomb et le zinc se sont accumulés de façon importante dans le lichen *Xanthoria parietina* (L.). Le taux d'accumulation de ces deux éléments traces métalliques, dépendant des conditions climatiques, est très réduit durant la saison pluvieuse et ventée et très important par temps calme et sec. L'effet de la pente, les longues périodes de sécheresse et l'inégale répartition du trafic routier se font sentir par les fortes concentrations qui perdurent assez longtemps dans l'atmosphère.

Les concentrations des éléments traces métalliques (Pb et Zn), issues du trafic routier dans la ville de Sidi Bel Abbès, sont moins élevées en saison d'Hiver qu'en saison d'Été. La saison estivale est marquée par des concentrations de plomb et de zinc multipliées par (10) dix de celles de la saison d'Hiver. Les faibles valeurs de la saison d'Hiver sont dues en partie à la forte pluviométrie et la fréquence du vent. Ces deux paramètres du climat diminuent la suspension des particules fines des éléments traces métalliques (Pb et Zn) issues du trafic routier.

L'ensemble des observations constatées à partir des classes de pollution a permis la cartographie des retombées des éléments traces métalliques (Pb et Zn) d'origine routière. Les (4) quatre cartes de pollution, réalisées à l'aide du logiciel MapInfo, situent les zones urbaines à fortes teneurs en Plomb et en Zinc, pour les deux saisons, dans des sites fermés localisés sur des terrains à pente relativement forte soumis à un trafic routier très dense. Ces cartes permettent de répondre aux questions concernant le problème de la répartition de la pollution atmosphérique dans la ville de Sidi Bel Abbés.

Cette modeste contribution a montré la parfaite adéquation des lichens bio-accumulateurs pour la cartographie des différents dépôts élémentaires et la localisation des sources de métaux lourds issues du trafic routier. Les lichens urbains peuvent constituer des réseaux de plantes bioindicatrices de la pollution atmosphérique, dont l'utilisation se révèle être une méthode particulièrement simple, souple, économique et performante pour établir dans l'espace et dans le temps des cartes de la pollution atmosphériques. L'identification de la pollution au sein d'organismes sensibles permet également de détecter la dégradation de la qualité de l'air avant que celle-ci n'affecte sévèrement le biotope et l'homme.

Aujourd'hui, l'usage de véhicules à moteur a considérablement augmenté en Algérie et le développement urbain et industriel a accéléré l'utilisation de ces véhicules. L'étude de la nocivité de certaines substances émises par les véhicules dans l'atmosphère est l'un des facteurs qui permet de ne pas nuire à la santé de la population et à son environnement car il n'est pas possible d'éviter la pollution mais de la réduire.

La lutte contre la pollution automobile nécessite surtout une approche à long terme, en appliquant le principe de précaution, et en maîtrisant plus, les déséquilibres causés par les automobiles en villes, il est possible de renforcer cette lutte par :

- Des restrictions de la circulation automobile afin de réduire les émissions ;
- Le renouvellement du parc automobile, sachant que les véhicules usés sont les plus polluants ;
- Des travaux sur l'amélioration des performances des moteurs et des carburants (carburants verts par exemple).

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- ❖ **ABBEY D.E, LEBOWITZ M.D, MILLS P.K, et al. (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 p.
- ❖ **ACADEMIE DES SCIENCES. (1993).** Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère. Technique et documentation. Rapport **Lavoisier n°30**, Paris, 262 p.
- ❖ **ALFANI A., BARTOLI G., RUTIGLIANO F.A., MAISTRO G., VIRZO De Santo A. (1996).** Trace metal biomonitoring in the soil and the leaves of *Quercus ilex* in the urban area of Naples. *Biological Trace Element Research*, 117-131 p.
- ❖ **AALLOWY B.J. (1995).** Heavy metals in soils. Ed **Blackie Academic & Professional (2nd Ed)**, London, 368 p.
- ❖ **ARVICK J.H., ZIMDAHL R.H. (1974).** Ed: **Journal of Environmental Quality n°3**, 369-373 p.
- ❖ **ASTA J. (1997).** Cours « Bioindicateurs et Bioévaluation », UFR de Biologie, Université Joseph Fourier, Grenoble, 220 p.
- ❖ **ASTA J., ERHARDT W., FERRETI M., FORNASSIER F., KIRSCHBAUM U., NIMIS P.L., PURVIS OW., PIRINTSOS S., SCHEIDEGGER C., VAN HALUWYN C., Wirth V. (2003).** European guideline for mapping lichen diversity as an indicator of environmental stress, 20 p.
- ❖ **ATMO PICARDIE. (2004).** Fiche pédagogique - Imprimé sur du papier recyclé - RESEC RCS A 383 687 217.
- ❖ **BAIZE D. (2000).** Teneurs totales en "métaux lourds" dans les sols français. **Courrier de l'environnement de l'INRA**, 39-54 p.
- ❖ **BARBUSSE S. (1996).** Climatisation automobile, énergie et environnement. Automobile air conditioning: Effects in terms of energy and the environment. **Ed: ADEM**, 60 p.
- ❖ **BARGAGLI R. (1993).** Plants as biomonitors indicators for heavy metals in the terrestrial environment. **Ed: Bernd Market, Weinhein New York, Basel, Cambridge**, 1-6 p.
- ❖ **BEAULIEU S., MAMEDOV A. (2000).** Air pollution, aeroallergens and cardiorespiratory emergency department visits in Saint John, Canada. *J Exposure Anal Env Epidemiol*: 10: 461–477 p.
- ❖ **BEGUINOT J. (2010).** Société d'histoire Naturelle du Creusot, Cours.
- ❖ **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.

- ❖ **BELHADJ H., HELLAL B., AYAD N., MAATOUG M. (2011).** Quantification de la Pollution atmosphérique dans le milieu urbain de Sidi Bel Abbés (Algérie Occidentale). **Technologies de laboratoire. vol.6, N° 22.** 24-29 p.
- ❖ **BELHADJ H., HELLAL B., AYAD N., AYACHE A. (2015).** Quantification de l'émission de Plomb dans le milieu urbain de Sidi Bel Abbés (Algérie Occidentale). **European Scientific Journal. vol.11, N° 6.** 13 p.
- ❖ **BEYER W. N., Miller G., SIMMERS J. W. (1990),** Trace Elements in Soil and Biota in Confined Disposal Facilities for Dredged Material. **Environmental Pollution**, 19-32 p.
- ❖ **BIRRAUX C. (1995).** Sources d'énergie non polluantes pour les transports collectifs, Mission ministérielle, 135 p.
- ❖ **BLANDIN P. (1986).** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. **Bulletin d'Ecologie**, 215-307 p.
- ❖ **BRODO I.M. (1961).** Transplant experiments with corticolous lichens using a new technique. **Ed: Ecology (42):** 838-841 p.
- ❖ **BURNETT R.T., SMITH-DOIRON M., STIEB D., CAKMAK S., BROOK J.R. (1999).** Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalizations. **Arch Env Health: 54:** 130–139 p.
- ❖ **BUSCHBOM U. (1968).** Détermination de la masse d'eau et des propriétés optiques d'une feuille à partir de modifications de son bilan énergétique, 527-561 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 p.
- ❖ **CHAMBERLAIN A.C. (1983).** Fallout of lead and uptake by crops. **Ed: Atmospheric Environment n°17,** 693-706 p.
- ❖ **CHIFFOLEAU J. F., AUGER D., BOUTIER B., ROZUEL E., TRUQUET I. (2003).** Dosage de certains métaux dans les sédiments et la matière en suspension par absorption atomique. Méthodes d'analyses en milieu marin. **Ed : IFREMER, France,** 44 p.
- ❖ **CITEPA. (2001).** Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique). La pollution atmosphérique en bref. Différentes échelles de pollution.
- ❖ **CITEPA. (2003).** Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique). : Inventaire Coralie format SECTEN .
- ❖ **CUNY D. (1990).** Evaluation de l'impact du trafic routier de l'autoroute du Nord sur l'environnement par l'étude des lichens et des champignons supérieurs. DEA : Toxicologie de l'Environnement. Université de Metz : Université de Lille II Droit et Santé : Laboratoire de botanique et de cryptogamie, 42 p.
- ❖ **DEGOBERT P. (1992).** Automobile et pollution. **Ed : Science ,** 516 p .

- ❖ **DELETRAZ G., PAUL E. (1998).** Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes. **Ed : ADEM**, 24 p.
- ❖ **DELLETRAZ G. (2002).** La pollution des transports routiers dans les vallées de transit : Légitimité et apports de la géographie, Les effets spatiaux et territoriaux de la « déréglementation » des transports en France et en Europe. Actes du forum des jeunes chercheurs, Journées de Géographie des Transports, THEMA, Université de Dijon & Commission Transports du Comité National de Géographie, 4-8 p.
- ❖ **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 doctorat de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, spécialité : Chimie et microbiologie de l'eau, 191 p.
- ❖ **DÉRUELLE S. (1981).** Effets de la pollution automobile (plomb rejeté avec les gaz d'échappement) sur les lichens en Forêt de Fontainebleau, Effet de la pollution atmosphérique sur la végétation lichénique dans le bassin parisien, Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, **Convention de Recherche n°79-15**, 91- 106 p.
- ❖ **DÉRUELLE S. (1983).** Effets à long terme de la pollution atmosphérique sur les lichens, VIème congrès mondial pour la qualité de l'air. **Ed : Spic**, mai, 533-540 p.
- ❖ **DÉRUELLE S. (1984).** L'utilisation des lichens pour la détection de la pollution par le plomb, 1-6 p.
- ❖ **DÉRUELLE S. (1996).** La fiabilité des lichens comme bioindicateurs de la pollution plombique. **Ed : Ecologie n°27**, 285-290 p.
- ❖ **DESBOEUF K. (2001).** Processus de dissolution des aérosols atmosphériques au sein des gouttes d'eau nuageuses. *Thèse*. Université Paris VII, Paris, 224 p.
- ❖ **Di BENEDETTO M. (1997).** Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisations, dossier SAM, les métaux lourds, 24-28 p.
- ❖ **DIMITRI L. (1981).** Influence des sels fondants sur les arbres et autres végétaux. Ed: **European Journal of Forest Pathology n°11**, 137-152 p.
- ❖ **DIOP C., SAGNA P. (2011).** Vulnérabilité climatique des quartiers de Dakar au Sénégal : exemples de Nord-Foire-Azur et de Hann-Maristes. Colloque « Renforcer la résilience au changement climatique des villes : du diagnostic spatialisé aux mesures d'adaptation » (2R2CV). 07 et 08 juillet 2011. Université Paul Verlaine – Metz. France.
- ❖ **DURRIEU F. (1999).** Etude des conditions météorologiques dans la vallée d'Aspe. Maîtrise des Sciences et Techniques "Mesure et traitement des Pollutions et Nuisances, Option Air et Combustion", Université de Pau et des Pays de l'Adour ,Météo-France, Pau, 40 p.
- ❖ **EDWARDS N.T. (1983).** Polycyclic aromatic hydrocarbons in the terrestrial environment. **Ed: Journal of Environmental Quality, vol. 12**, 427-441 p.
- ❖ **ESCOURROU G. (1996).** Transports, contraintes climatiques et pollutions. **Ed : Mobilité Spatiale**, 172 p.

- ❖ **FADEL D., DJAMAI R., LAIFA A. (2009).** Estimation de la pollution atmosphérique hydrocarbonée issue de la circulation automobile dans la ville de Skikda (Algérie) à l'aide de transplants lichéniques. Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév. 2009. Actes, ENP, Ed., Alger 169-174 p.
- ❖ **FALAH-ARDAKANI A. (1984).** Contamination of environment with heavy metals emitted from automobiles. *Ecotoxicology and environmental safety*, Vol n° 8, 152-161 p.
- ❖ **FERNANDEZ-CORNUDET C. (2006).** Devenir du Zn, Pb et Cd issus de retombées atmosphériques dans les sols, à différentes échelles d'étude. Influence de l'usage des sols sur la distribution et la mobilité des métaux. Thèse de doctorat de l'INA-PG 2006, 232 p.
- ❖ **FORNASIERO R.B. (2001).** Phytotoxic effects of fluoride. **Ed: *Plant Science***, 979-985 p.
- ❖ **FORSTNER U., WITTMANN G. (1979).** Metal pollution in the aquatic environment. **Ed: Berlin, Springer-Verlag**, 486 p.
- ❖ **GABET M.C. (1999).** Depot de poussières au voisinage des tunnels routiers, **CTU** ; 1-4 p.
- ❖ **GALUN M. (1988).** Handbook of lichenology. **Ed: Springer**, 181 p.
- ❖ **GARREC J.P. (1996).** Bioindication végétale de l'ozone dans l'agglomération nancéenne durant l'été. **Revue : *Pollution atmosphérique***, 87 p.
- ❖ **GARREC J.P., Van Haluwyn C. (2002).** Bio surveillance végétale de la qualité de l'air. Concepts, méthodes et applications. **Ed : Tec & Doc, Lavoisier, Paris**, 118 p.
- ❖ **GARTY J., KAUPPI M., KAUPPI A. (1996).** Accumulation of airborne elements from vehicles in transplanted lichens in urban sites. **Journal of Environmental Quality**, 265-72 p.
- ❖ **GUDERIAN R., TINGEY D.T., RAKE R. (1985).** Effects of photochemical oxidants on plants. **Ed: *Air pollution by photochemical oxidants***, Springer-Verlag, New-York, Etats-Unis, 25 p.
- ❖ **HALE M.E.JR., LAWRY J.D. (1985).** Annual rate of lead accumulation in the lichen *Pseudoparmelia baltimorensis*. **Ed : *The Bryologist***, 5-7 p.
- ❖ **HELLAL B., BELHADJ H., AYAD N., MAATOUG M. (2011).** Quantification à l'aide de végétaux ligneux de la pollution atmosphérique dans le milieu urbain de Sidi Bel Abbés (Algérie Occidentale). **1^{ères} journées nationales « contrôle et pollution »** 22-23 mai 2011- Centre Universitaire de Khenchela- Algérie.
- ❖ **HELLMANN H., FUNCK D., RENTSCH D., FROMMER W.B. (2000).** Hypersensitivity of an arabidopsis sugar signaling mutant toward exogenous proline application. *Plant Physiology*, 357-367 p.
- ❖ **HOFSTRA G., HALL G., LUMIS G.P. (1979).** Studies of salt induced damage to roadside plants in Ontario, 25-31 p.

- ❖ **INRETS. (1990).** Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. Emissions unitaires de polluants des véhicules légers. Rapport, 120 p.
- ❖ **JACKOBSON L., WEISTEIN C. (1977).** Sampling and analysis of fluoride : methods for ambient air plant and animal tissues ,water soil and foods. Ed: **Med n°19**, 79-87 p.
- ❖ **JOUMARD R., LAMURE C., LAMBERT J. (1995).** Politiques de transport et qualité de l'air dans les agglomérations. Ed : **LEN n° 9515**, Bron (France), **125 p.**
- ❖ **JUSSY J.H. (1998).** Minéralisation de l'azote, nitrification et prélèvement radiculaire dans différents écosystèmes forestiers sur sol acide. Effet de l'essence, du stade de développement du peuplement et de l'usage ancien des sols. Thèse : Sciences biologiques fondamentales et appliquées : Université de Nancy, 270 p.
- ❖ **KOEPPE D.E. (1977).** The Science of the Total Environment, 197-206 p.
- ❖ **KRUPNICK A.J., HARRINGTON W., OSTRO B. (1990).** Ambient Ozone and Acute Health Effects: Evidence from Daily Data. J Environ Econ Manage, 1-18 p.
- ❖ **KUNZLI N., JERETT M., MACK WJ., BECHERMAN B., LABREE L., GILLILAND F., THOMASD., PETERS J., HODIS H.N. (2005).** Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles, Environ Health Perspect.
- ❖ **LACOUR S. (2001).** Cours de pollution atmosphérique. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement Atmosphérique France, 43 p.
- ❖ **LAURE S. (1996).** La pollution atmosphérique. Rapport national, France, 21 p.
- ❖ **LAVALARD M. (2005).** Mise en place d'une bioindication de la qualité de l'air par une observation des lichens.
- ❖ **LEBLOND S. (2004).** Etude pluridisciplinaire du transfert des métaux de l'atmosphère vers les mousses (*Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr.) : Suivi sur un site rural (Vouzon, France). Thèse de doctorat en Chimie de la Pollution Atmosphérique et Physique de l'Environnement, Université Paris 7 Denis Diderot, 212 p.
- ❖ **LEGRET M., DIVET L., JUSTE C. (1988).** Migration et spéciation des métaux lourds dans un sol soumis à des épandages de boues de station d'épuration à très forte charge en Cd et Ni. Ed : **Wat.Res, vol 22, n° 8**, 95-953 p.
- ❖ **LIEUTAGHI P., (1972).** L'environnement végétal flore végétation et civilisation, 317 p.
- ❖ **LITTLE P.E. (1978).** Deposition of exhaust lead and its impact on plants, Symposium « The impact of road traffic on plants ». Supplementary Report, 49-54 p.
- ❖ **LOPPI S., PUTORTI E., DEDOMINICIS V., BARBARO, A. (1995).** lichens as bioindicators of air quality near a municipal solid incinerator, Central Italy, Allionia, 121 – 129 p.

- ❖ **LORENZINI G., (1992).** Plants as biomonitors of air quality, 47-63 p.
- ❖ **LUMIS P.E., HOFSTRA G., HALL R. (1973).** Sensitivity of roadside trees and shrubs to aerial drift of deicing salt. Ed **Hortscience n°6**, 475-477 p.
- ❖ **MAATOUG M., HELLAL B., DELLAL A., AYAD N., BOURBATACH M. (2007).** Detection of air pollutants from road traffic by using the bioaccumulative effect of flora species regarding some heavy metals (Pb, Zn, Cu). **Ed: pollution atmosphérique n°196**, 393 p.
- ❖ **MADANY I.M., ALI S.M., AKHTER M.S. (1990).** Assessment of lead in roadside vegetation in Bahrain. Ed **Environment International**, 123 p.
- ❖ **MALBREIL N. (1997).** La pollution en bordure d'autoroute et son impact sur la végétation. Ressources Naturelles et Environnement, Université de Metz, 56 p.
- ❖ **MARCHAND M., KANTIN R. (1997).** Les métaux traces en milieu aquatique. **Ed : Océanis novembre**, 629 p.
- ❖ **MARKLUND S., ANDERSSON R., TYSKLIND M., RAPPE C., EGEBACK K.E., BJORKMAN E., GRIGORIADIS V. (1990).** Emissions of PCDDs and PCDFs in Gasoline and Diesel Fueled Cars. **Ed:Chemosphere**, 561 p.
- ❖ **MAZOUÉ S., Service D'Etude Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). (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 JP. (1997).** Too easily lead? Health effects of gasoline additives. *Environ Health Perspect*, 105: 270-273 p.
- ❖ **NAFTAL. (2014).** rapport annuel, service commercial, Agence de Sidi Bel Abbés.
- ❖ **OCDE. (1995).** La pollution des véhicules à moteur - Stratégies de réduction, Les Editions de l'OCDE, Paris, 148 pages.
- ❖ **OMS. (1985).** Organisation Mondiale de la Santé (. Fluors et fluorites publié sous la triple égide du programme des nations unies pour l'environnement, 150 p.
- ❖ **ONS. (2014).** Office National des Statistiques.
- ❖ **OZENDA P. (1982).** Les végétaux dans la biosphère. **Ed: Doin**, Paris, 431 p.
- ❖ **PAGOTTO C. (1999).** Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier. Thèse : Chimie et microbiologie de l'eau : Sciences et technique : Université de Poitiers, 252 p.
- ❖ **PARMENTIER C., GARREC J. (1994).** Impact de la pollution atmosphérique le long des routes et autoroutes sur la végétation environnante, Utilisation de la Bioindication végétale, Synthèse bibliographique, INRA Centre de Recherches Forestières de Nancy, Laboratoire d'Etude de la Pollution Atmosphérique, 84 p.

- ❖ **PAUL C. (1860).** Etude sur l'intoxication lente par les préparations de plomb, de son influence sur le produit de la conception, 511-533 p.
- ❖ **PETERS J., HODIS HN. (2005).** Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles. *Environ Health Perspect*, 113 p.
- ❖ **PFEFFER H.U., BRUCHMANN P. (2004).** La lutte contre la pollution l'environnement surveillance de la qualité de l'air encyclopédie de sécurité et de santé au travail.
- ❖ **PFEIFFER H., BARCLAY-ESTRU P. (1992)** .The use of single lichens species, *Hypogymnia physodes*, as an indicator of air quality in North Western ontario, the *bryologist* 95,38 -41 p.
- ❖ **PILLOT D. (1997).** Emissions représentatives des véhicules lourds en circulation, Actes du 4ème colloque international « Transport et pollution de l'air ». **Ed : INRETS**, 179-184p.
- ❖ **PONCHE J.L. (2003).** Modélisation de la qualité de l'air troposphérique : cinétiques de transferts hétérogènes, inventaires spatialisés d'émissions atmosphériques et modélisation à méso-échelle. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université Louis Pasteur de Strasbourg.
- ❖ **POPE C.A 3rd., DOCHERY D. W. (2006).** Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc.* 2006; 56(6):709-42 p.
- ❖ **POSTHUMUS A. (1992).** General philosophy for the use of plants as indicators and accumulators of air pollutants and as bio-monitors of their effects, 398 p.
- ❖ **PPR. (2005).** Plan de Prévention des Risques naturels Risques de la pollution atmosphérique. **Ed : Nane**, 335 p.
- ❖ **RABINOWITZ M.B., NEEDLEMAN H.L. (1982).** Temporal trends in the lead concentrations of umbilical cord blood. *Science* 216: 1429-1431p.
- ❖ **RAMADE F. (2002).** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Paris: Dunod, 1075 p.
- ❖ **RHUE R.D., MANSELL R.S., OULT, COX R. TANG S.R., OUYANG Y. (1992).** The fate and behavior of lead alkyls in the environment: a review. *Crit Rev Environ Control*, 169-193 p.
- ❖ **ROUL D. (1998).** Etude des conditions météorologiques de Biriadou : analyse des paramètres météorologiques influençant les concentrations en polluants autour du site. Maîtrise : Sciences et Techniques : "Mesure et traitement des Pollutions et Nuisances" : Université de Pau et des Pays de l'Adour, 19 p.
- ❖ **SCHELL L.M., STARK A.D., GOMEZ M.I., GRATAN W.A. (1997).** Blood lead level, by year and season, among poor pregnant women. *Arch Environ Health* 52: 286-291 p.
- ❖ **SCHÜTZ M. (1995).** Environnement et pollution Comment mesurer? Comment réagir ?, **Ed :Publitronic**, Nieppe, 253 p.

- ❖ **SEMADI A. (1989).** Effet de la pollution atmosphérique, pollution globale, fluorée, plombique sur la végétation dans la région d'Annaba (Algérie). Thèse de Doctorat d'Etat en Science Nat. Université P et M Curie (Paris 6), 339 p.
- ❖ **SEMADI A., DÉRUELLE S. (1993).** Détection de la pollution plombique à l'aide de transplants lichéniques dans la région d'Annaba (Algérie). **Ed : Pollution Atmosphérique octobre/décembre**, 86-102 p.
- ❖ **SFSP. (1996).** Société Française de Sante Publique La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique. Bilan de 15 ans de recherche internationale. **Ed : Collection Santé et société, SFSP**, Vandoeuvre-lès- Nancy, 251 p.
- ❖ **SHAHEEN A. (1975).** proceedings of the Fifth Multidisciplinary , 581 p.
- ❖ **SHARMA G.K. (1987).** Plant cuticular complex in response to highway pollution. **Ed: The Science of the Total Environment n°59**, 303-307 p.
- ❖ **SIVERTSEN B. (2011).** Air Quality Monitoring Dakar : Assessment and management. Atelier final du projet Qualité de l'Air à Dakar, Dakar, 18 et 19 mars 2011.
- ❖ **STIEB D.M., BEVERIDGE R.C., BROOK J.R., SMITH-DOIRON M., BURNETT R.T., DALES R.E., E., BEAULIEU S., MAMEDOV A. (2000).** Air pollution, aeroallergens and cardiorespiratory emergency department visits in Saint John, Canada. *J Exposure Anal Env Epidemiol*: 10: 461–477 p.
- ❖ **URBAT. (2011).** Centre d'étude et de réalisation en urbanisme de la wilaya de Sidi Bel Abbés, données statistiques.
- ❖ **VAN HALUWYN C., (1990).** Lichens et pollution atmosphérique, un an de suivi dans la communauté urbaine de Lille, 125 p.
- ❖ **VAN HALUWYN C., LEROND M. (1993).** Guide des lichens. **Ed : Lechevallier**, Paris, 344 p.
- ❖ **WALTER U., BEYER M., KLEIN J., REHM H.J. (1991).** Degradation of pyrene by *Rhodococcus* sp. UW1, *Applied and environmental microbiology*, Vol. 34, 671-676 p.
- ❖ **ZAMBRANO A., NASH III Th. (2000).** Lichen responses to short term transplantation in Desierto de Los Leon, Mexico City. *Environ. Pollut.* 107, 407-412 p.

ANNEXES

Annexes

Annexe1



Le Trafic routier dans la ville de Sidi Bel Abbés, (BELHADJ H, 01/11/2011).

Annexe 2

Spectrométrie d'absorption atomique

La **spectrométrie par absorption atomique** permet de doser une soixantaine d'éléments à l'état de traces (quelques ppm). La méthode est **quantitative** et relative, il faut donc faire un étalonnage. C'est une méthode très sélective (pas d'interférences spectrales ou alors elles sont connues), la technique est simple si on sait préparer les solutions initiales, c'est une méthode très documentée (*Cook Book*).

Les concentrations doivent être à l'échelle de traces pour rester dans le domaine de Beer-Lambert, l'aspect non qualitatif de la technique impose la connaissance des éléments en solution afin de choisir une source adaptée, et enfin les réglages préliminaires se fondent sur des paramètres pas toujours indépendants.

Annexe 3

STATISTICA :

STATISTICA offre la gamme la plus vaste de techniques exploratoires multivariées et d'outils interactifs de modélisation linéaire et non-linéaire dans un seul logiciel. Grâce à *STATISTICA*, on peut explorer les relations entre les variables, créer des typologies, modéliser les relations entre nos variables (modèles avec des prédicteurs continus et catégoriels, interactions, modèles hiérarchiques...) ; nous disposons de tous les outils pour sélectionner automatiquement le meilleur modèle.

Annexe 4

CORRÉLATIONS :

Diverses options nous permettent d'étudier les corrélations entre nos variables. Les mesures d'association les plus courantes peuvent être calculées. Les matrices de corrélations sont affichées dans des feuilles de données, nous offrant diverses options de mise en forme, et de représentation des résultats numériques ; on peut ainsi cliquer sur une corrélation particulière dans la feuille de données et choisir de représenter ce coefficient grâce à l'un des nombreux "graphiques de synthèse" disponibles (par exemple, un nuage de points avec des intervalles de confiance, divers histogrammes bivariés en 3D, des tracés de probabilité, etc.).

Annexe 5

ACP :

L'analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode de la famille de l'analyse des données et plus généralement de la statistique multivariées, qui consiste à transformer des variables liées entre elles (dites « corrélées en statistique) en nouvelles variables décorréelées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées »composantes Principales », ou axes principaux. Elle permet au praticien de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante.

Annexe 6

Le MapInfo :

Le MapInfo Professional est un Système d'information géographique (SIG) à l'origine Bureautique créé dans les années 1980 aux États-Unis. C'est un logiciel qui permet de réaliser des cartes en format numérique. Le MapInfo est conçu autour d'un moteur d'édition de cartes qui permet la superposition de couches numériques. Il permet de représenter à l'aide d'un système de couches des informations géo-localisées : points, polygones, image raster ... Il incorpore un grand nombre de formats de données, de fonctions cartographiques et de gestion de données... Un système de requêtes cartographiques adapté permet la conception des cartes et bases de données cartographiques. Le MapInfo est ouvert vers le Web et les globes virtuels ; il permet de publier sur le web des cartes réalisées sur un PC, de faire de la cartographie interactive, d'incorporer des informations des globes virtuels...La version actuelle est MapInfo Professional v12.5 (32 ou 64 bit).

Le MapInfo Professional est un logiciel destiné aux chargés d'étude et d'aménagement territorial, aux chargés d'études d'implantation, de géomarketing, aux analystes des réseaux physiques et commerciaux.

Connexe et complémentaire au logiciel desktop MapInfo Professional, il existe une vaste gamme de modules permettant de faire des traitements de localisation par géocodage automatique d'adresses, de l'optimisation des déplacements routiers, des analyses de risques locaux (Crédit, Assurance,...), des analyses géomarketing et socio-demographique, de l'enrichissement de fichiers d'adresses à l'aide d'informations localisées, ainsi que de la diffusion de cartes et données sur support WEB.

Ces traitements peuvent être réalisés :

- avec une grande précision locale et à l'échelle mondiale à l'aide des bases de données cartographiques (TeleAtlas, NavTech...),
- sur des volumes de données importants grâce à des traitements par lots (batch) de plusieurs millions d'enregistrements,
- sur un ordinateur local et/ou à distance, via des API et en mode WEB.

PUBLICATION

