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



Université Yahia Fares De Médéa
Faculté Des Science Et De La Technologie
Département De Génie Des Procédés Et De L'environnement

Mémoire De Fin D'étude Pour L'obtention Du Diplôme De Master En Génie Des Procédés

Option : Pollution Chimique et Gestion Environnementale

Thème

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE PAR LES METAUX LOURDS DANS LES PM10

Proposé et Dirigé par :
Mr. KERCHICHE Yassine

Présenter par : RAHMANI Younes

Année Universitaire 2012-2013

Remerciement

Tout d'abord louange à dieu tout puissant qui nous a donné toutes les capacités physiques et morales pour la réalisation du présent travail.

Nous le remercions également, car il nous a permis de rencontrer tout au long de notre parcours, un grand nombre de personnes douées d'intelligence et de gentillesse.

Nous adressons de même nos vifs remerciements à toutes les personnes qui ont contribué moralement et matériellement à la réalisation de ce travail

Un grand merci à mon promoteur en signe de reconnaissance Pour leur aide précieuse.

Nos chaleureux remerciements s'adressent à tous les enseignants de l'université de Médéa et particulièrement à nos enseignants du département génie des procédés.

Mes remerciements vont également à mes chers parents qui m'ont bien encouragé.

Nous remercions enfin nos amis de promotion ainsi que tous ceux qui ont contribué de réalisation de prés ou de loin de ce projet.

A tous un grand merci

Dédicaces

- Je dédie ce modeste travail à mes chers parents pour leurs encouragements et sacrifices sans limites durant toutes mes années d'études.
- A mes chers frères.
- A ma très belle grand-mère : Malika.
- A tout ma famille.
- A tout mes amis sans exceptions.

Younes

ABREVIATIONS

AFNOR : L'Association française de normalisation.

BPCO: Broch-pneumopathie chronique obstructive.

CAFE: Clean Air For Europe.

CPG : La chromatographie en phase gazeuse.

EPA : Environnemental Protection Agency.

GF-A: filtres Gelman type A.

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques.

HVS: High Volume Sampler.

HPLC : la chromatographie en phase liquide.

ISO : international standard organisation.

ICP : Spectrométrie par torche à plasma.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

PM : Particules Mater.

PM-2,5 : Particules Respirables ou Alvéolaires.

PM-10: Particules Inhalables.

SAA: La Spectrométrie d'Absorption Atomique.

SFX : La spectrométrie de fluorescence X.

TSP : Particules Totales en Suspension.

TEOM: Tapered Element Oscillating Microbalance.

UV : La spectrométrie ultra violet visible.

XRF : La fluorescence par rayon X.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Schéma des principales sources des particules atmosphériques.

Figure I.2 : Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé.

Figure I.3 : illustration des effets de la pollution sur le bâti à Paris :
a) présence de croûtes noires sur le Pont Neuf
b) détachement spontané de croûtes noires sur une pierre poreuse.

Figure I.4 : épisode de pollution particulaire sur le climat en France.

Figure II.1 : Variation de l'efficacité de collecte d'une tête de prélèvement.

Figure II.2: Tête de prélèvement NF X 43-021.

Figure II.3: Tête de prélèvement PM-10.

Figure II.4 : Tête de prélèvement PM-2.5.

Figure II.5 : La Spectrométrie d'Absorption Atomique (S.A.A).

Figure II.6 : Spectrométrie par torche à plasma ICP.

Figure III.1 : Le site de prélèvement sur la carte de Médéa (Google Earth) 2013.

Figure III.2 : Schéma de prélèvement.

Figure III.3 : Montage réelle de l'expérience.

Figure IV.1 : Filtre avant et après le prélèvement.

Figure IV.2 : Evolution journalière des teneurs en PM-10 dans l'air au site de Médéa (Hall de technologie).

Figure IV.3 : Evolution journalière des teneurs en Plomb et Nickel dans l'air au site de Médéa (Hall de technologie).

Figure IV.4: Les fractions massiques du Plomb et Nickel dans les PM-10.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Principales méthodes d'échantillonnage de la matière particulaire en suspension.

Tableau IV.1 : Teneurs moyennes en PM-10 mesurées dans l'air au site de Médéa (Hall de technologie).

Tableau IV.2 : Teneurs et pourcentages massiques du Nickel et Plomb.

Tableau IV.3 : Normes et valeurs guides régissant les PM-10.

Tableau IV.4 : Teneurs atmosphériques en PM-10 et PM-2,5 mesurées dans certaines villes.

Tableau IV.5 : Les normes nationales.

Tableau IV.6 : Facteurs d'enrichissement des éléments mesurés au site de Médéa (halle de technologie)

SOMMAIRE

Introduction Générale.....1

CHAPITRE I : Généralité Sur La Pollution Atmosphérique

I-1-Définition de la pollution atmosphérique 3

I-2- Sources de pollution atmosphériques 3

I-2-1-Les sources naturelles.....3

I-2-2-Les sources artificielles.....4

I-2-2-1-Les sources fixes.....4

a) L'Industrie thermo énergétique.....4

b) L'Industrie sidérurgique.....5

c) L'industrie des matériaux non ferreux.....5

d) L'industrie des matériaux de construction.....5

e) L'industrie chimique.....5

f) L'incinération des déchets.....5

I-2-2-2-Les sources mobiles.....6

a)Les particules routières.....6

b) Les particules diesel.....6

c)Les métaux lourds 7

I-3- Mécanisme de formation des particules en suspension.....7

I-3-1- Particules primaires.....8

I-3-2 Particules secondaires.....8

I-4-L'influence de la météorologique.....9

I-4-1- La température.....9

I-4-2- Le vent.....10

I-4-3- La pression atmosphérique et vents synoptiques.....10

I-4-4- Les brises locales.....10

I-5-Effets de la pollution atmosphérique.....10

I-5-1- Effet sur la santé.....11

I-5-2- Effet sur le bâti et les écosystèmes.....13

I-5-3- Les effets sur le climat.....15

I-6-pollution de l'air par les métaux lourds.....16

I-6-1-Principales sources d'émission.....16

I-6-2-Pollutions générées.....16

I-6-3-Effets sur la santé.....16

I-7-Les normes algérienne et internationale de qualité de l'air.....18

I-7-1-Normes d'air extérieur ambiant des directives européennes.....18

I-7-2-Décrets et norme de qualité de l'air en Algérie.....20

CHAPITRE II : Méthodes D'analyse Des Métaux Lourds Dans L'air Atmosphérique

II-1-Introduction.....22

II-2-Les procédures de prélèvement.....22

II-2-1- Les prélèvements sans coupure granulométrique précise.....23

II-2-2-Les prélèvements avec coupure granulométrique.....23

II-2-2-1- La tête de prélèvement française normalisée AFNOR NF X43-021.....24

II-2-2-2- La tête type PM-10 d'origine américaine.....25

II-2-2-3- La tête type PM-2,5 d'origine américaine.....26

II-2-3-Les prélèvements avec fractionnement granulométrique.....26

II-3-La mesure en teneur atmosphérique en particules.....27

II-3-1-La méthode gravimétrique (échantillonneur à grand débit).....27

II-3-2-La réflectométrie (indice de fumées noires).....27

II-3-3-La radiométrie (jauge bêta).....28

II-3-4-La microbalance à variation de fréquence (TEOM : Tapered Element Oscillating Microbalance) 28

II-3-5-La mesure optique.....29

II-4- Les filtres et membranes de rétention.....30

II-4-1-Les filtres à fibre de verre.....30

II-4-2-Les filtres à membranes.....30

II-5-L'analyse des particules en suspension.....31

II-5-1-La Spectrométrie d'Absorption Atomique (S.A.A) 31

II-5-2-L'Emission par Plasma (ICP) 32

II-5-3-La Fluorescence X.....34

II-5-3-1- Une source d'excitation.....34

II-5-3-2- Un détecteur et un analyseur de rayonnement.....34

II-5-4-Les Méthodes Nucléaires.....35

II-6-Les stations de mesure des polluants atmosphériques.....35

II-6-1-Les stations urbaines denses.....35

II-6-2-Les stations périurbaines.....36

II-6-3-Les stations rurales.....36

II-6-4-Les stations de proximité industrielle.....36

II-6-5-Les stations de proximité automobile.....36

CHAPITRE III : Méthodologie Expérimentale

III-1-Introduction.....37

III-2-Site de prélèvement.....37

III-3-Mode de prélèvement.....39

III-4-traitement et analyse élémentaire.....40

CHAPITRE IV : Résultats Et Interprétations

IV-1-Introduction.....42

IV-2-Etude de l'ampleur de la pollution de l'air par les PM-10.....42

IV-2-1- Evolution temporelle des teneurs atmosphériques en PM-10.....42

IV-3-Etude des métaux lourds.....45

IV-3-1-Niveau de pollution par les métaux lourds.....45

IV-4- Comparaison aux normes nationales et situation par rapport à d'autres pays.....47

IV-5- Comparaison des normes nationales avec les données de l'étude.....50

IV-5-1-Facteurs d'enrichissement.....51

IV-6-Le plomb en Algérie.....52

CONCLUSION.....54

Introduction Générale

La pollution atmosphérique est un phénomène très complexe compte tenu de la diversité des polluants susceptibles d'être présents dans l'atmosphère. Les niveaux de pollution au sol dépendent de la nature et des conditions de rejets polluants ainsi que des conditions atmosphériques qui déterminent le transport, la diffusion et les retombées de ces mêmes polluants. Ces phénomènes ont lieu dans la troposphère (la plus basse couche de l'atmosphère).

Des quantités croissantes de gaz potentiellement nuisibles sont émises dans l'atmosphère et entraînent des dommages à la santé humaine et à l'environnement. Elles endommagent également, à long terme, les ressources nécessaires au développement durable de la planète [1].

En plus des composés gazeux, (SO2, NOX, O3 …etc), la pollution de l'air véhicule des aérosols de particules, c'est à dire des particules plus au moins fines qui séjournent dans l'atmosphère assez longtemps et qui, sous l'effet des phénomènes météorologiques, se dispersent, se déposent ou se condensent.

Ces particules fines véhiculent principalement des imbrûlés et noyaux carbonés issus de processus de combustion, des particules secondaires issues de la conversion gaz/ particules, des éléments minéraux liés à l'érosion des sols et à la remise en suspension des particules déposées ainsi que divers métaux lourds toxiques tels que le Pb, Cu, Ni, Cr, etc. qui jouent sans doute un rôle important dans la toxicité de l'aérosol.

Les activités du transport contribuent de manière importante à la pollution de l'air par les particules. En milieu urbain, le trafic routier constitue, en effet l'une des principales sources émettrices de particules fines.

De nos jours, l'étude des différentes fractions de particules véhiculées par les aérosols atmosphériques constitue un axe important dans l'évaluation globale de la pollution de l'air.

Dans le cadre de notre étude nous nous intéresserons particulièrement à la pollution de l'air par les métaux lourds véhiculés par les particules fines (PM-10) en un site urbain de proximité automobile au niveau de la ville de Médéa.

Dans le troisième chapitre de ce mémoire, on met en évidence le site de prélèvement à proximité de la route de l'Ain D'heb à Médéa, et le quatrième chapitre traiteront les résultats des analyses sur les filtres de prélèvement par spectrométrie d'absorption atomique.

Nous terminons par une conclusion générale et nous proposerons quelques recommandations.

CHAPITRE I

Généralité Sur

La Pollution Atmosphérique

I-1- Définition de la pollution atmosphérique :

On entend par pollution de l'atmosphère, l'émission dans l'atmosphère, de gaz, des fumées ou de particules solides ou liquides, corrosifs, toxiques ou odorantes de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétations, la production agricole et aux produits agro-alimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites [1].

I-2- Sources de pollution atmosphériques :

La pollution de l'air est la résultante de multiples facteurs : croissance de la consommation d'énergie, développement des industries extractives, métallurgiques et chimiques, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, etc. Ainsi, la production et l'utilisation d'énergie en sont les principaux moteurs [2].

I-2-1-Les sources naturelles [3-4-5-6] :

Les phénomènes naturels sont à l'origine d'une importante émission de particules dans l'atmosphère. Annuellement et à l'échelle mondiale, la production de particules naturelles est estimée à environ 2 096.10^6 tonnes [7].

Dans certains cas, la capacité de pollution par les sources naturelles peut être considérable ; c'est le cas par exemple lors du soulèvement dans l'atmosphère des particules du sol ou lors d'éruptions volcaniques, etc.

Cependant en général, on attribue une importance moindre à la pollution due aux sources naturelles et ce pour deux raisons [7] :

- Elle est produite par les substances qui ont généralement un effet nocif faible ou bien qui se transforment assez rapidement en composés inoffensifs entrant dans les cycles biologiques naturels.
- Elle provient de sources émettrices dispersées et souvent éloignées des grandes agglomérations urbaines.

Parmi les sources naturelles on compte :

- ✓ L'érosion éolienne (la poussière du sol et les particules minérales emportées par le vent) ;
- ✓ Les éruptions volcaniques (cendres volcaniques) dans lesquelles on retrouve par exemple les particules de sulfates issues de la conversion de SO_2 ;
- ✓ Les embruns et sels marins (le brouillard marin) qui après évaporation donnent des particules de NaCl ;
- ✓ Les particules d'origine extraterrestre qui proviennent de la décomposition de météorites ;
- ✓ Les composées biologiques (le pollen, les spores et les bactéries) ;
- ✓ La fumée des incendies de forêts causée par exemple par la foudre.

I-2-2-Les sources artificielles [8] :

De nombreux types d'installations industrielles émettent cependant également des polluants dans l'atmosphère, constituent généralement un problème local à l'échelle d'une région ou d'un quartier, et planétaire à grande échelle.

Les sources artificielles peuvent être classées d'après plusieurs critères selon :

- o Qu'elles résultent de phénomènes de combustion ou de mécanismes plus spécifiques ;
- o Qu'elles soient ponctuelles ou diffuses ;
- o Qu'elles soient fixes ou mobiles.

De ce dernier classement, on trouve alors :

I-2-2-1-Les sources fixes :

Tous les process de combustion et la plupart des branches industrielles sont génératrices de particules dans l'air.

a) L'industrie thermo énergétique [9] :

La combustion induit dans l'atmosphère plusieurs variétés minérales, des métaux et

des particules carbonées (suies), ainsi que des gaz qui se transforment dans l'atmosphère en particules tels que (les NOx et le SO_2).

b) L'industrie sidérurgique [7] :

Les principaux polluants issus de ce domaine sont des poussières de composition chimique variable et de granulométrie entre 2 et 100 µm (SiO_2, ALO_3, CaO_2, K_2O, ZnO,…) et des particules fines entre autre les fumées d'oxyde de fer. Ces émissions sont le résultat de différents processus de production à savoir : l'agglomération et « frittage » des minerais, la cokéfaction, la fusion dans les hauts fourneaux, le chauffage, le transport, etc.

c) L'industrie des matériaux non ferreux [7] :

Elle participe à l'émission d'importantes quantités de Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Hg,…. Lors du raffinage de ces métaux au cours des opérations de fusion, des vapeurs métalliques se répandent dans l'air, s'oxydent et se subliment en fines particules, qui sont entraînées sur de longues distances par la circulation de l'air.

d) L'industrie des matériaux de construction [7] :

La production des matériaux de construction contribue fortement à la pollution particulaire à cause des procédés d'extraction, de transport, de broyage et de fusion des minerais. Les cimenteries sont des grandes émettrices de poussières, du fait de l'importance des quantités de ciment produites et des roches utilisées pour sa production.

e) L'industrie chimique [6] :

Ne présente pas une importante source de poussière dans l'air, mais participe d'une manière indirecte dans la pollution par l'émission des gaz qui se transforment en particules. Certains métaux (Cd) et certains hydrocarbures aromatiques polycycliques sont produits dans l'air par les raffineries de pétrole.

f) L'incinération des déchets [10] :

Engendre l'émission de grandes quantités de particules. Ces particules peuvent contenir d'importantes quantités de métaux (Fe, Zn, Cd, Pb, Hg) et des oxydes métalliques

divers dont la toxicité est considérable. En plus de ces particules, on trouve les gaz qui dans l'air se transforment en particules (SO_2).

I-2-2-2-Les sources mobiles :

Le parc automobile, dont le volume croit continuellement, constitue en milieu urbain la principale source d'émission de particules [7]. La pollution issue du trafic routier comprend les émissions suivantes :

a) Les particules routières [11] :

Le trafic automobile émet surtout des halogénures (bromures et chlorures) de plomb, volatils à la température du gaz à l'échappement, mais qui ensuite, par hydrolyse de ces sels, engendrent dans l'atmosphère des acides chlorhydriques (HCl) et bromhydriques (HBr) qui ne restent pas en général sous forme gazeuse mais se retrouvent adsorbés par les poussières atmosphériques. Ces rejets se présentent alors dans la gamme granulométrique des PM-2,5.

b) Les particules diesel [12] :

Les moteurs diesel émettent des particules toxiques capables d'atteindre les alvéoles pulmonaires. Ainsi, leur diamètre aérodynamique moyen est centré sur 0,1 µm en sortie d'échappement. Le diesel dégage une pollution spécifique visible, des fumées noires et des suies constituées de particules de carbone et imprégnées de diverses substances, en particulier d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Ainsi, les particules diesel sont principalement constituées :

- ✓ De résidus solides sous forme de suies (carbone élémentaire et carbone organique);
- ✓ D'une partie soluble constituée d'hydrocarbures imbrûlés, principalement les HAP, issus de la combustion incomplète du carburant diesel ;
- ✓ D'une fraction insoluble (carbone non fonctionnalisé, etc.).

Ce sont en fait, des particules solides avec une structure fractale qui s'apparente à une éponge. Des mesures effectuées en site proche du trafic révèlent qu'environ 75% du carbone suie se trouve dans la fraction granulométrique inférieure à 1 µm, le reste étant à associer à des particules plus grossières. Ce qui démontre bien l'importance et la spécificité de la

pollution diesel.

c) Les métaux lourds :

Parmi ces composés c'est surtout le plomb qui, de loin est le plus incriminé dans la pollution par le trafic routier et le plus répandu en milieu urbain. Ajouté aux carburants comme antidétonant sous forme de tétra-éthyle de plomb à raison de 0.15g à 0.4g/l il est rejeté presque totalement dans l'atmosphère des villes [13].

I-3- Mécanisme de formation des particules en suspension :

Les particules en suspension ont généralement des mécanismes de formation distincts avec parfois certaines similitudes.

Ils existent trois modes de formation principaux qui sont les suivants [3] :

- **La dispersion des poudres**

Provenant de la désagrégation d'un matériau solide en particules assez petites pour être mises en suspension (cendres, envols, suies provenant des centres d'émission industriels).

- **La condensation de vapeur**

Elle donne naissance aux nuages, au brouillard, à la brume, aux fumées et à la plus grande partie de la pollution particulaire (résultat des process métallurgique ou chimique faisant intervenir des fusions ou sublimations de certains produits).

- **La pulvérisation des liquides :**

Dont il résulte aussi bien des gouttelettes liquides (vésicules) que des particules solides ; par exemples :

- ✓ Les vagues créent des bulles qui en éclatant forment les embruns dont l'évaporation donne lieu à la formation de noyaux de condensation constitués essentiellement de sel marin;
- ✓ Les humidificateurs à pulvérisation donnent naissance à de fines particules provenant des sels dissous dans l'eau.

Selon la voie de leur introduction dans l'air, les particules se rangent en deux catégories [14] :

I-3-1- Particules primaires :

Les particules primaires sont émises directement dans l'atmosphère. Elles résultent essentiellement des processus mécaniques tels l'altération éolienne et autres. Parmi ces particules on distingue :

a) Les noyaux Aitken (Ø < 0,1µm) et les particules fines (0,1µm < Ø < 2,5µm), formées par les processus naturels (les embruns marins et les feux de forêts) et par les processus de combustion industriels.

b) Les particules vivantes, les micro-organismes, les bactéries et les pollens.

c) Les grosses particules : les poussières transportées par les vents et les matières particulaires à partir des activités industrielles.

d) Les particules issues des activités de transport.

e) Les matières carbonées : les suies.

I-3-2- Particules secondaires :

Les émissions primaires peuvent évoluer chimiquement dans l'atmosphère pour former des particules secondaires. Les processus les plus connus pour la formation de ces particules secondaires sont :

- La transformation du dioxyde de soufre SO_2 en sulfates SO_4^{2-}.
- La transformation des oxydes d'azote NOx en nitrates NO^{3-}.
- La transformation des composés organiques lourds en particules organiques.

Les particules secondaires constituent généralement les particules fines de Ø < 2,5µm.

On résume ces dernières parties que les particules atmosphériques ont 3 origines principales, illustrées sur la figure I.1 ci-dessous : ils sont d'une part rejetés directement dans l'atmosphère, on parle alors particules primaires ; ils peuvent d'autre part résulter de transformations chimiques à partir des polluants gazeux présents dans l'atmosphère, ce sont

les particules secondaires ; enfin, les particules qui se sont déposés au sol peuvent être remis en suspension.

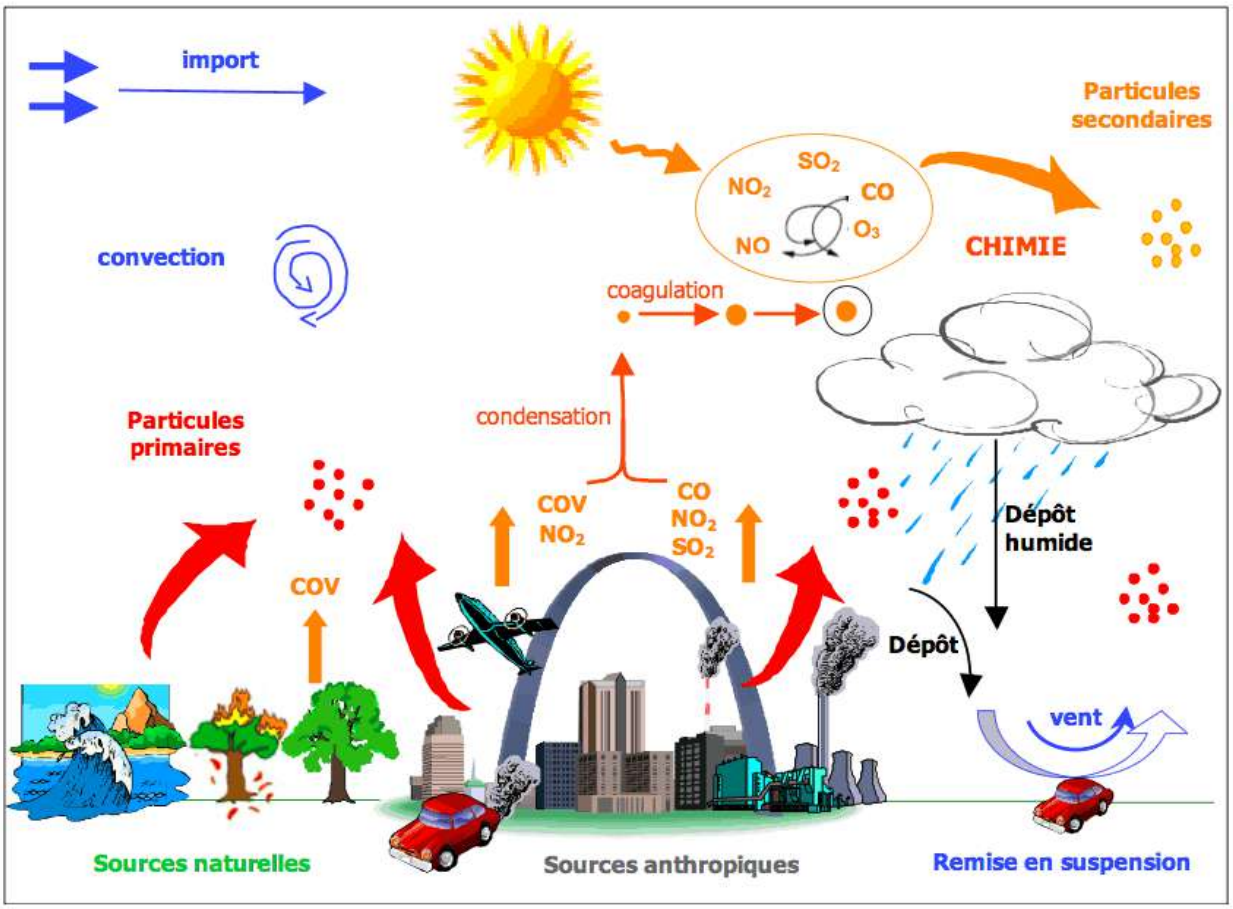


Figure I.1 : Schéma des principales sources des particules atmosphériques.

I-4-L'influence de la météorologique [7]:

La concentration des polluants dans l'atmosphère est fortement dépendante des conditions météorologiques.

I-4-1- La température :

La température agit sur la chimie des polluants : le froid diminue la volatilité de certains gaz alors que la chaleur estivale favorise la formation photochimique de l'ozone.

I-4-2- Le vent :

Le vent est un facteur essentiel expliquant la dispersion des polluants. La vitesse du vent joue sur la dilution et la dispersion des polluants, la direction oriente, quant à elle, les retombées de panaches. Lorsque les vents sont faibles, l'influence du relief local est forte et des brises locales ou régionales apparaissent.

I-4-3- La pression atmosphérique et vents synoptiques :

Les vents synoptiques sont liés aux champs de pressions qui figurent sur les cartes météorologiques. Les situations dépressionnaires correspondent généralement à des zones où la turbulence est forte, la dispersion est facilitée. Par contre, les fortes pressions qui caractérisent les situations anticycloniques induisent une stabilité propice à l'accumulation de polluants.

I-4-4- Les brises locales :

Les brises de mer ou de terre sont générées par le contraste thermique existant entre la mer et la terre. Le jour, sous l'effet du rayonnement solaire, la terre se réchauffe plus vite que la mer : une brise de mer apparaît ainsi en cours de matinée. La nuit, le phénomène s'inverse car la terre se refroidit davantage que la mer : il se forme alors une brise de terre soufflant de la terre vers la mer. Ces phénomènes sont particulièrement présents dans les régions de climat méditerranéen. L'étang de Berre occasionne lui aussi, dans une mesure moindre, les mêmes phénomènes.

I-5-Effets de la pollution atmosphérique :

De nombreuses études permettent aujourd'hui d'affirmer que même à des niveaux faibles, la pollution a des effets néfastes sur notre santé. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, "trois millions de personnes meurent chaque année sous l'effet de la pollution atmosphérique, soit 5 % des 55 millions de décès annuels dans le monde. Vu la marge d'incertitude des estimations, le nombre réel des décès annuels pourrait se situer entre 1,4 et 6 millions" [15].

Les effets de la pollution atmosphérique se ressentent sur la santé humaine, les écosystèmes et les bâtiments (corrosion, noircissement, encroûtement et altérations diverses) mais aussi sur notre environnement.

I-5-1- Effet sur la santé [16-17-18-19-20] :

A ce jour, les effets des particules sur la santé ont fait l'objet de nombreuses études et il est aujourd'hui admis que les particules jouent un rôle important dans les effets sanitaires engendrés par la pollution atmosphérique. Le programme CAFE (Clean Air For Europe) estime que les PM2.5 présentes dans l'atmosphère, sur la base des émissions de l'année 2000, entraînent en Europe une perte annuelle de 3,7 millions d'années de vie, et environ 348 000 décès prématurés [21-22].

Les principaux effets mis en évidence sont des troubles cardio-respiratoires qui peuvent survenir à court terme (dans les quelques jours à quelques semaines suivant l'exposition) ou bien à long terme (suite à une exposition chronique sur plusieurs années). Les particules atmosphériques peuvent déclencher des réactions inflammatoires, une amplification des réactions allergiques, des maladies respiratoires obstructives chroniques (asthme), un stress oxydant, mais aussi un remodelage irréversible des tissus pulmonaires et une modulation de l'expression des gênes pouvant conduire à l'apparition de cancers. On constate à la fois une aggravation des affections respiratoires et une augmentation de l'incidence de ces maladies. Par ailleurs, les particules peuvent engendrer des effets néfastes sur le système cardiovasculaire. Ces différents effets peuvent se traduire notamment en termes de consultations médicales, d'hospitalisations ou de décès anticipés.

A ce jour, il n'a pas été mis en évidence de seuil en-dessous duquel les particules seraient inoffensives. En revanche, les concentrations accrues de particules augmentent les risques d'effets délétères (symptômes, hospitalisations, décès…). Les autres facteurs déterminants dans les effets sur la santé sont la taille, la morphologie et la composition chimique. Il est en effet admis que les particules les plus fines se déposent dans les voies respiratoires profondes en proportion nettement plus importante que les particules les plus grosses.

En pénétrant profondément, elles atteignent les alvéoles par lesquelles s'effectuent les échanges gazeux entre l'air et le sang, et persistent longtemps dans l'organisme, car elles résistent en partie aux processus d'élimination. De plus, les très petites particules peuvent être en nombre très important, et elles offrent de ce fait une surface de contact plus importante que les grosses.

Néanmoins la taille n'est pas le seul facteur, la morphologie des particules joue également un grand rôle. Par exemple, les particules d'amiante peuvent avoir une longueur de plusieurs microns, mais leur morphologie en forme de fibre leur permet de pénétrer très profondément dans les alvéoles pulmonaires.

Enfin, c'est la nature chimique des composés adsorbés à la surface des particules qui va déterminer leurs effets sur la santé. Elles peuvent être constituées de nombreuses espèces chimiques (métaux lourds, dioxines, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques …), dont certaines sont toxiques voire cancérigènes.

Dans ce contexte, la communauté scientifique s'intéresse aujourd'hui de près aux nanoparticules [23-24-25]. Ces technologies produisent en effet des particules qui présentent toutes les caractéristiques énoncées précédemment. Leur très petite taille leur permet de pénétrer profondément dans le poumon, et les études récentes font craindre des interactions au niveau de la cellule [26]. De par leurs nombreuses applications industrielles ou médicales (catalyseurs pour les réactions chimiques, polissage des disques-durs en microélectronique, élaboration de nouveaux matériaux, applications médicales…), ces particules présentent des propriétés physico-chimiques, et donc des morphologies et des compositions très diverses. L'Afsset, dans un rapport publié en 2006, préconise ainsi de multiplier les études toxicologiques et de mesurer l'exposition de la population, notamment des travailleurs [27].

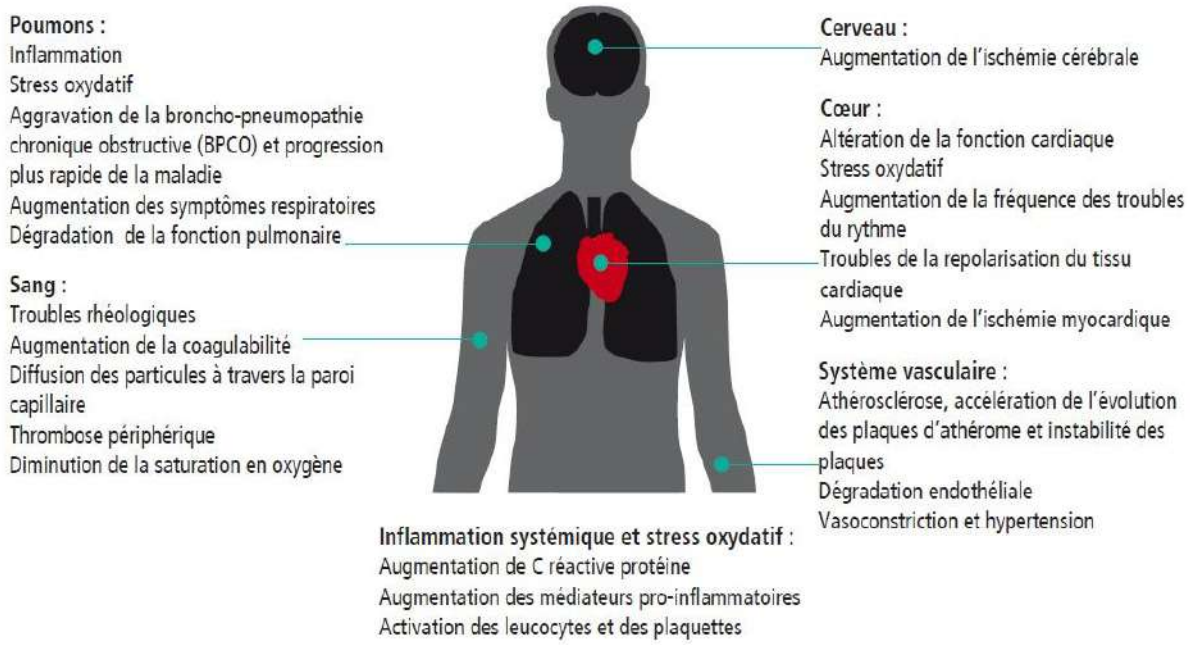


Figure I.2 : Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé.

I-5-2- Effet sur le bâti et les écosystèmes [19, 20,28] :

Le processus d'altération des bâtiments résulte de l'action combinée des différents éléments atmosphériques ayant pour effet de modifier la couleur, la texture, la composition ou la forme des édifices qui y sont exposés, conduisant finalement à une perte de matière et à un aspect inesthétique. Il est difficile d'évaluer la responsabilité de chacun des polluants atmosphériques dans la dégradation du patrimoine bâti.

Néanmoins, les particules, essentiellement carbonées (suies et cendres volantes), sont principalement responsables du noircissement des façades. Elles se déposent à la surface des édifices et conduisent à leur empoussièrement et à la formation de croûtes noires. Elles peuvent également être porteuses de soufre et de métaux catalyseurs de certaines réactions d'oxydation qui altèrent les matériaux.

Les nettoyages et ravalements successifs mis en œuvre pour la préservation du patrimoine bâti représentent un coût important pour la société, et entraînent une perte de matière sur les édifices. Outre la mise en péril du patrimoine historique, les effets des particules sur le bâti constituent donc un enjeu économique important.

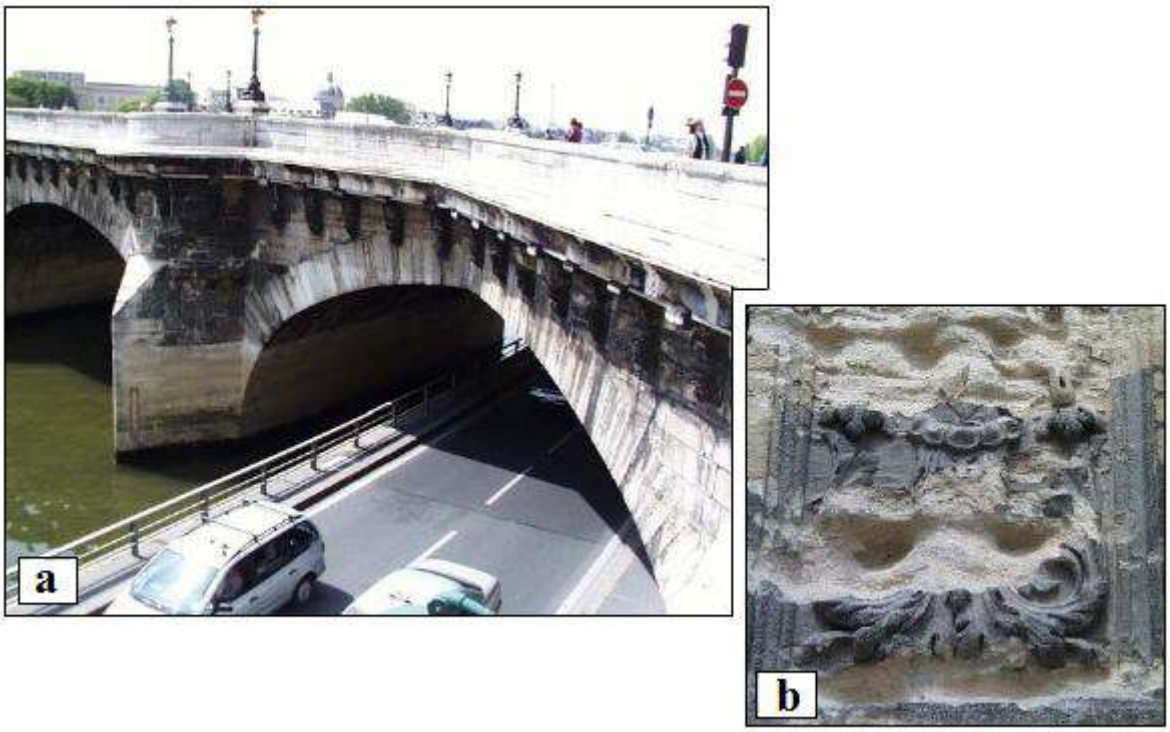


Figure I.3 : illustration des effets de la pollution sur le bâti à Paris :

a) présence de croûtes noires sur le Pont Neuf

b) détachement spontané de croûtes noires sur une pierre poreuse.

Les effets des particules atmosphériques sur les écosystèmes sont encore assez mal connus. En se déposant sur la plante, les particules peuvent avoir des effets directs sur son fonctionnement via des réactions physiques et/ou chimiques, tels que le blocage des échanges gazeux, la dégradation ou l'abrasion de la cuticule, des salissures entraînant une diminution de l'activité de photosynthèse et le développement d'organismes pathogènes, comme les champignons. Ces effets sont essentiellement rencontrés de façon localisée, à proximité immédiate des sources. Mais les particules peuvent aussi avoir un impact sur les écosystèmes en modifiant le milieu, notamment l'eau et le sol. Par ces modifications, on peut citer l'apport de nutriment (qui peut être bénéfique dans certains cas mais nocif en trop grande quantité), l'acidification et la contamination par dépôt de polluants toxiques tels que les Polluants Organiques Persistants (HAP ou dioxines par exemple).

I-5-3- Les effets sur le climat [29-30] :

Les particules jouent un rôle important sur le climat car ils participent au bilan radiatif de la Terre. Ils ont des effets directs en agissant directement avec le rayonnement solaire, et des effets indirects en modifiant les propriétés des nuages. En effet, les particules atmosphériques diffusent, et éventuellement absorbent la lumière du soleil. Ces propriétés optiques sont d'ailleurs bien mises en évidence lors de certains épisodes de pollution particulaire tels que celui enregistré le 24 décembre 2007, lors duquel Paris semblait plongée dans la brume (voir figure I.4 ci-dessous). Il y a donc une perte de lumière avant qu'elle n'atteigne le sol, directement liée à la taille des particules. La lumière sera également différemment absorbée ou réfractée selon la nature et la concentration des espèces chimiques adsorbées à leur surface. Les particules atmosphériques influentes également sur la nébulosité et la pluviométrie, en participant à la formation des nuages ainsi qu'à leur durée de vie : les très fines particules servent de noyaux de condensation, c'est-à-dire que la vapeur d'eau présente dans l'air va condenser à leur contact et former des gouttelettes dans les nuages, pouvant donner des précipitations si leur taille augmente suffisamment.

Enfin, les particules influent sur le climat par leur implication dans les épisodes de pollution photochimique. Aujourd'hui, le bilan global de l'effet des aérosols sur le climat est difficile à estimer, mais il est primordial de les prendre en compte dans le cadre de l'étude du réchauffement climatique.



Figure I.4 : épisode de pollution particulaire sur le climat en France.

I-6-pollution de l'air par les métaux lourds :

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. Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'étain (Sn) et le zinc (Zn). Le terme réglementaire est éléments-traces car il peut s'agir de métaux (cadmium, cuivre, mercure, plomb, etc.) ou d'éléments non-métalliques (arsenic, fluor, etc.). Tous les métaux lourds sont toxiques à forte concentration et ont des impacts sur les végétaux, les produits de consommation courante et l'homme.

I-6-1-Principales sources d'émission :

Au niveau mondial, on estime que la part des émissions naturelles des composés métalliques émis dans l'atmosphère est au moins égale aux émissions dues aux activités humaines. Dans les pays industrialisés, la source anthropique est prépondérante.

Les principales sources naturelles sont les volcans, les embruns marins et l'érosion. Les principales sources anthropiques sont la combustion des combustibles fossiles (y compris le transport), la métallurgie, l'incinération…

I-6-2-Pollutions générées :

La majorité des composés métalliques sont volatilisés à haute température et se recondensent sur les particules, préférentiellement sur celles de faible diamètre. Ces particules fines échappent plus facilement aux différents systèmes de dépoussiérage, et sont transportées loin des sources émettrices et pénètrent profondément le système respiratoire (alvéoles pulmonaires) [31].

I-6-3-Effets sur la santé :

La plupart des éléments métalliques sont nécessaires à la vie à faible dose : il s'agit des oligo-éléments. Ils sont cependant très nocifs à dose élevée [32-33] :

- *L'arsenic* est un poison à forte dose et est cancérogène.

- *Le cadmium* induit des effets à court terme sur le système respiratoire et à long terme sur la peau et les reins.
- *Le cobalt* est classé parmi les composés « peut-être cancérogènes » et entraîne des dysfonctionnements au niveau du foie et des reins.
- *Le chrome* (surtout le chrome VI) est cancérigène et a des effets sur le système respiratoire et sur la peau.
- *L'inhalation de poussières et de vapeurs de cuivre* provoque un refoulement sanguin dans les membranes nasales et les muqueuses, et peut entraîner une perforation de la cloison nasale.
- *Le manganèse* produit des effets sur les systèmes nerveux et respiratoire.
- *Le nickel* est cancérogène. Il provoque des allergies de la peau et des muqueuses et des problèmes de type asthmatique.
- *Le plomb* est un toxique neurologique hématologique et rénal qui peut entraîner chez les enfants des troubles du développement cérébral. Il provoque également des risques accrus d'affections cardio-vasculaires.
- *L'antimoine*, considéré comme cancérogène pour l'homme, porte atteinte aux organes respiratoires, digestifs, aux reins et au cœur.
- *Le sélénium* et ses composés sont des irritants respiratoires sévères après exposition par inhalation. Le fonctionnement du foie, des reins et du système nerveux peut être perturbé après intoxication aiguë par voie orale.
- *L'étain* provoque des irritations cutanées, oculaires et des muqueuses respiratoires en cas d'inhalation de produits à base d'organo-étain ;
- *Les fumées* contenant du *tellure* irritent les yeux et le système respiratoire.

Certains composés peuvent causer des effets sur le foie et le système nerveux central.

- *Le thallium* et ses composés sont hautement toxiques mais on connaît mal les relations dose-effet associées à l'inhalation ou à l'ingestion de thallium ;
- *L'intoxication chronique au vanadium* induit des maladies respiratoires ;
- *L'exposition aux aérosols ou fumées de sels de zinc* est à l'origine d'une irritation des muqueuses respiratoires et gastro-intestinales.

I-7-Les normes algérienne et internationale de qualité de l'air :

Une norme de qualité de l'air est une prescription de qualité de l'air. La qualité de l'air est essentiellement définie en fonction de la quantité de polluants chimiques dans l'air, mais peut également se référer à d'autres paramètres physiques, comme la température, l'humidité ou la pression.

Les normes de qualité de l'air s'appliquent à différents domaines :

- ✓ L'air intérieur (public ou privé) ;
- ✓ L'air du lieu de travail ;
- ✓ L'air ambiant extérieur (c'est l'air public que chacun respire) ;
- ✓ L'air à l'émission de certains rejets (les émissions des industriels et les émissions automobiles) ;

I-7-1-Normes d'air extérieur ambiant des directives européennes [34] :

Le descriptif des "normes de pollution européenne" actuelles est très complexe, et particulièrement évolutif.

Selon les directives européennes en vigueur, sont réglementés actuellement, dans l'air extérieur ambiant, les polluants suivants :

A)-SO_2 : Ou dioxyde de soufre (valeur limite pour la protection de la santé humaine : 99,7 % des moyennes horaires de l'année civile : 350 µg/m³ ; 99,2 % des moyennes journalières de l'année civile : 125 µg/m³ ; Valeur limite pour la protection des écosystèmes : 20 µg en moyenne annuelle et 20 µg/m³ en moyenne sur l'hiver). Le SO_2 est très irritant et toxique, il provient principalement des combustions fossiles.

B)-PS 10 : (valeur limite pour la protection de la santé : 90,4 % : 50 µg/m³ des moyennes journalières de l'année civile ; Moyenne annuelle : 40 µg/m³). Le diamètre des particules en suspension est très important : ce sont surtout celles dont le diamètre est inférieur à 10 microns, leur permettant de pénétrer profondément dans les voies respiratoires, et chargées de composés toxiques qui sont importantes.

C)-NO_2 : ou dioxyde d'azote (valeur limite pour la protection de la santé humaine : 98 % des moyennes horaires de l'année civile : 240 µg/m³, en 2006 ; Moyenne annuelle : 48 µg/m³, en 2006 ; Valeur limite pour la protection de la végétation (en zone éloignée d'habitation, d'industrie ou d'autoroute : 30 µg/m³ en NO_x, avec $NO_x = NO + NO_2$, ces deux polluants étant exprimés en NO_2). Il provient également des combustions fossiles et altère les fonctions respiratoires.

D)-O_3 : ou ozone (valeur limite pour la protection de la santé humaine : maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures : 120 µg/m³ ; Valeur limite pour la protection de la végétation, calculée à partir de valeurs moyennes horaires mesurées de mai à juillet : 18 000 (µg/m³). L'ozone se forme, sous l'action de la lumière, à partir su SO_2 et du NO_2 et provoque les mêmes effets.

E)-CO : ou monoxyde de carbone (valeur limite pour la protection de la santé humaine : 10 mg/m³ pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures).

F)-Benzène : (valeur limite pour la protection de la santé humaine : 9 µg/m³ en 2006).

G)-Métaux lourds (Cd, Ni, As, Pb, Hg) :

Cadmium : Valeur cible : 5 µg/m³, en moyenne de l'année civile du contenu total de la fraction PS 10.

Nickel : Valeur cible : 20 µg/m³.

Arsenic : Valeur cible : 6 µg/m³.

Plomb : Valeur limite : 0,9 µg/m³, en 2006.

H)-HAP (Benzo(a)pyrène) :

Benzo(a)pyrène : 1 µg/m³, en moyenne de l'année civile du contenu total de la fraction PM10.

I-7-2-Décrets et norme de qualité de l'air en Algérie [35]:

Pour prévenir et réduire les pollutions et les nuisances, l'Algérie dispose des décrits importantes qui s'article autour de la protection de l'environnement, qui a été suivie par toute une série de textes d'application.

Art.1-La surveillance de la qualité de l'air concerne les substances suivantes :

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

Art.2-La surveillance de la qualité de l'air est confiée à l'observatoire national de l'environnement et du développement durable. Elle s'effectue selon les modalités techniques fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement.

Art.3-La détermination des objectifs de qualité de l'air et des valeurs limites de pollution atmosphérique est fixée sur une base moyenne annuelle.

Art.4-Les valeurs limites ainsi que les objectifs de qualité de l.air sont fixés comme suit :

1. **Dioxyde d'azote :**

- ✓ Objectif de qualité : 135 µg/Nm3 ;
- ✓ Valeur limite : 200 µg/Nm3 (centile 98).

2. **Dioxyde de soufre :**

- ✓ Objectif de qualité : 150 µg/Nm3 ;
- ✓ Valeur limite: 350 µg/Nm3 (centile 99,9).

3. **Ozone :**

- ✓ Objectif de qualité : 110 µg/Nm3 ;
- ✓ Valeur limite : 200 µg/Nm3.

4. **Particules fines en suspension :**

- ✓ objectif de qualité : 50 µg/Nm3 ;
- ✓ valeur limite : 80 µg/Nm3.

Art.5-Les seuils d'information et les seuils d'alerte sont fixés comme suit :

1. **Dioxyde d'azote :**

- ✓ seuil d'information : 400 µg/Nm3 ;
- ✓ seuil d'alerte : 600 µg/Nm3.

2. **Dioxyde de soufre :**

- ✓ seuil d'information : 350 µg/Nm3 ;
- ✓ seuil d'alerte : 600 µg/Nm3.

3. **Ozone :**

- ✓ seuil d'information : 180 µg/Nm3 ;
- ✓ seuil d'alerte : 360 µg/Nm3.

4. **Particules fines en suspension :**

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

Art.6 : Lorsque les seuils d'information et les seuils d'alerte fixés par l'article 5 ci-dessus sont atteints ou risquent de l'être, le ou les walis concernés prennent toutes les mesures visant à protéger la santé humaine et l'environnement ainsi que les mesures de réduction et/ou de restriction des activités polluantes.

Art.7 : Le présent décret sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

CHAPITRE II

Méthodes D’analyse Des Métaux lourds

Dans L’air Atmosphérique

II-1-Introduction :

Contrairement à la mesure des polluants atmosphériques gazeux, les méthodes de mesure des particules en suspension sont multiples et variées, en raison de leur nature extrêmement complexe et diversifiée. En effet, la description complète de la pollution particulaire nécessite la mise en œuvre de différentes méthodes, toutes complémentaires [36], basées essentiellement sur 3 approches : la détermination de la concentration massique, exprimée en microgrammes par mètre cube d'air, la détermination du nombre de particules, et enfin l'analyse de leur composition chimique.

Les mesures effectuées concernent les métaux fixés à des particules. C'est pourquoi, la méthode consiste d'abord à prélever, à l'aide de filtres, les particules en suspension dans l'air puis à analyser en laboratoire leur contenu en métaux. Les analyses sont réalisées par un laboratoire indépendant. Différents filtres sont utilisés afin de sélectionner les particules selon leur taille :

- La fraction de particules fines dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieure à 10 micromètres (Particules Mater 10 ou PM 10).
- La fraction de particules fines dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieure à 2,5 micromètres (Particules Mater 2,5 ou PM 2,5).

II-2-Les procédures de prélèvement :

Les méthodes de prélèvement sélectionnées dans le cadre de travaux sur les éléments traces métalliques dépendent de la problématique étudiée, de la gamme de concentrations attendue et de la méthode analytique utilisée.

Du fait des très faibles concentrations usuellement rencontrées dans l'air ambiant, on ne considère généralement que les méthodes actives de prélèvement pour les particules en suspension dans l'air : la filtration et l'impaction. Les prélèvements par filtration sont les plus communément utilisés et font globalement appel à la combinaison de plusieurs dispositifs: une tête de prélèvement (permettant ou non de sélectionner en taille les particules entrantes) ; un support de collecte (filtre ou membrane) ; un système de pompage à haut débit (typiquement de l'ordre de quelques dizaines de m^3/h ou plus) ou bas débit (de l'ordre du

m^3/h). Généralement, l'échantillonnage se fait avec ou sans fractionnement granulométrique, ce qui donne lieu aux catégories de prélèvement suivantes :

II-2-1- Les prélèvements sans coupure granulométrique précise :

Ils sont généralement effectués selon l'une des trois techniques suivantes [37]:

1) **La méthode de mesure dite des « fumées noires »*:*** à faible débit d'aspiration (85 l/h) [38] privilégie la captation sur filtre des particules fines inférieures à environ 5µm constituants de suies imbrûlées émis par les unités de combustion fixes et mobiles.

2) **Les prélèvements sur filtre ouvert de 47mm:** généralement en nitrate de cellulose de porosité 0,8µm, à un débit relativement élevé (de 1 à 1,5 m^3/h) où les particules de diamètre supérieur à 0,3µm sont retenues quantitativement sur le filtre.

3) **Les échantillonneurs HVS (High Volume Sampler):** à grand débit (plus de 1m^3/min) configurés en mode TSP (Particules Totales en Suspension) dont l'efficacité de collecte des particules de grand diamètre est significative.

II-2-2- Les prélèvements avec coupure granulométrique [37] :

Ils sont effectués à l'aide de matériels séquentiels ou automatiques équipés d'une « tête » qui, par sa conception, ne capte en théorie que des particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à une certaine valeur.

L'efficacité de collecte d'une particule varie suivant son diamètre aérodynamique comme l'indique la figure II.1. Le seuil de coupure granulométrique d'une tête est la valeur du diamètre aérodynamique correspondant à une effectivité de 50%.

Aucune tête de prélèvement n'est donc strictement sélective, c'est à dire laisse passer 100% des particules inférieures à une valeur annoncée et exclut 100% des particules plus grandes que cette valeur.

Le seuil de coupure est fonction de débit d'aspiration, du colmatage du filtre et des conditions de température et de pression ambiante. Les appareils de mesures de concentration en particules doivent donc maintenir le débit d'aspiration imposé (ex : 1m^3/h) de façon à avoir un seuil de coupure constant au niveau de la tète.

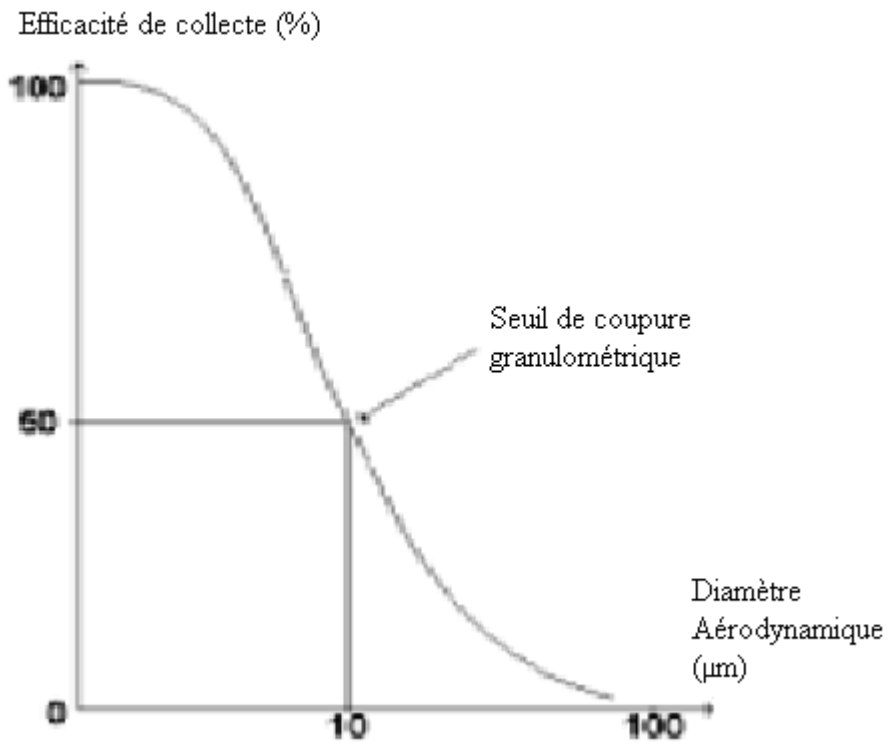


Figure II.1 : Variation de l'efficacité de collecte d'une tête de prélèvement [37].

II-2-2-1- La tête de prélèvement française normalisée AFNOR NF X43-021 [38] :

Cette tête, décrite sur la figure II.2, équipait l'ensemble du parc d'appareils de type PPA60 et jauge bêta jusqu'en 1995. Elle fonctionne avec un débit d'aspiration de 1,5 m^3/h.

La coupure granulométrique annoncée à 10µm serait plutôt aux alentours de 13µm d'après les essais réalisés en Grande-Bretagne par le Warren Spring Laboratory [39], de plus, elle est fonction du vent.

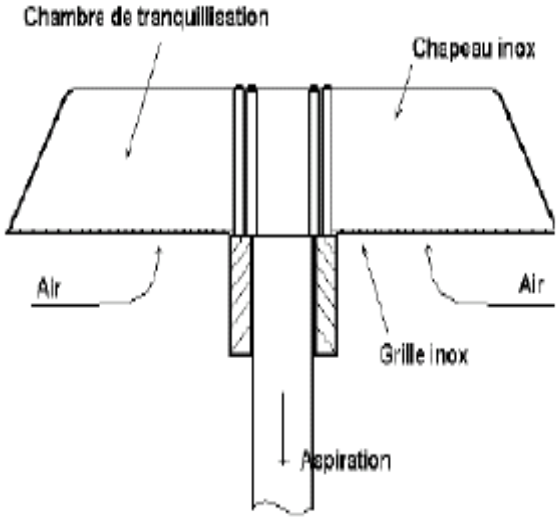


Figure II.2: Tête de prélèvement NF X 43-021 [37].

II-2-2-2- La tête type PM-10 d'origine américaine :

Le principe de séparation de la tête PM-10, schématisée sur la figure II.3, est l'impaction par effet aérodynamique induit par un système de chicanes, les particules plus grosses que le seuil de coupure percutent par inertie une surface d'impaction graissée pour éviter tout phénomène de ré-envol.

Le seuil de coupure granulométrique est annoncé à 10µm pour un débit d'aspiration fixé à $1m^3/h$. Les caractéristiques de la tête seraient peu influencées par la vitesse du vent selon des travaux menés aux Etats-Unis [40]. Cette tête équipe l'ensemble des appareils récemment implantés dans les réseaux (jauge bêta depuis 1995, microbalance à variation de fréquence).

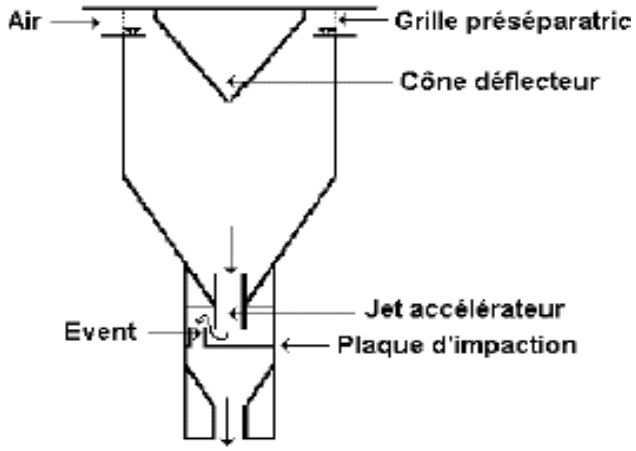


Figure II.3: Tête de prélèvement PM-10 [37].

II-2-2-3- La tête type PM-2,5 d'origine américaine :

Cette tête représentée sur la figure II.4 est proposée par les constructeurs sur des appareils tels que la microbalance à variation de fréquence.

La coupure granulométrique annoncée à 2,5 µm pour un débit d'aspiration fixé à 1m^3/h est obtenue par un système de type « cyclone », les particules de diamètre supérieur étant récupérées dans un récipient amovible. Contrairement à la tête PM-10, ce dispositif n'est pas démontable en vue d'un éventuel nettoyage.

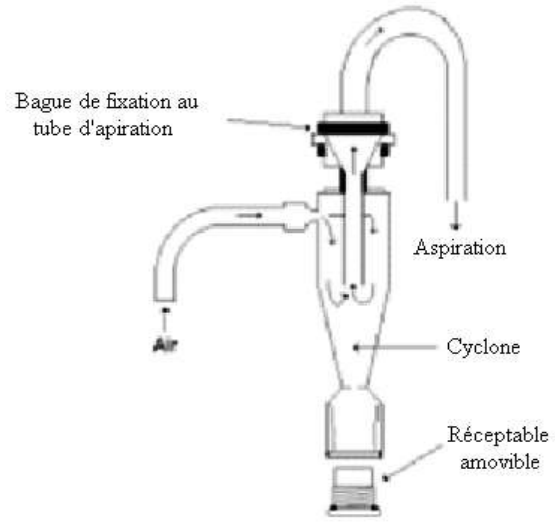


Figure II.4 : Tête de prélèvement PM-2.5 [37].

II-2-3-Les prélèvements avec fractionnement granulométrique :

Ce sont des méthodes qui permettent une séparation plus fine des particules inspirables. La sélection des particules en classe granulométrique se fait par impaction d'ou le nom d'impacteur [41].

Les impacteurs virtuels ou dichotomes travaillent à débit moyen (1,7m^3/h) et permettent d'avoir deux classes granulométriques : la fraction alvéolaire (Ø<2,5µm) et la fraction trachéo-bronchique (2,5µm<Ø<10µm) [42].

Les impacteurs à cascades sont équipés de 5 à 7 niveaux d'impaction et permettent d'avoir 5 à 7 fractions granulométriques (de 0 à 1µm, de 1 à 2,5µm etc.). Ces cascadeurs travaillent à débit fort (30 à 60 m^3/h).

L'appareil le plus connu est le HVS-PM10 équipé d'un impacteur d'Andersen. Il est considéré comme référence par l'Agence Américaine EPA [43].

II-3-La mesure en teneur atmosphérique en particules [37] :

La surveillance de la qualité de l'air est basée sur la mesure de concentrations en polluants de l'atmosphère. Cette concentration s'exprime essentiellement en unité de masse par unité de volume d'air prélevé et le plus fréquemment en microgramme de polluant par mètre cube d'air.

Les diverses techniques de mesure existantes varient selon le type de particules surveillées et débouchent sur des résultats notablement différents selon la technique utilisée.

II-3-1-La méthode gravimétrique (échantillonneur à grand débit) :

Cette méthode simple consistant à peser des filtres avant et après prélèvement est cependant astreinte à des contraintes d'utilisation [44]: le relevé des filtres est manuel, les filtres empoussiérés doivent être pesés dans les mêmes conditions de température et d'humidité que les filtres vierges, sans perdre de matière lors des manipulations. En égard aux concentrations atmosphériques urbaines (quelques dizaines de microgrammes par mètre cube d'air) la durée d'échantillonnage peut difficilement être inférieure à 24 heures. Cependant le HVS de marque Andersen équipé d'une tète PM-10 est considéré au niveau européen comme une référence pour l'échantillonnage de la fraction PM-10 des particules en suspension [45].

Les filtres en fibre de verre sont bien adaptés à la mesure gravimétrique, ils ne se colmatent pas trop vite mais ils peuvent contenir des impuretés minérales pouvant gêner des analyses chimiques ultérieures.

II-3-2-La réflectométrie (indice de fumées noires) [38] :

L'air échantillonné passe au travers d'un papier filtre sur lequel se déposent les particules. L'analyse du filtre, effectuée ultérieurement par réflectométrie, consiste à éclairer le filtre par de la lumière visible et à mesurer les intensités incidente (I_0) et réfléchie (I). La réflectance (I/I_0) qui varie de 100 à 0% suivant le degré de noircissement du filtre est

convertie par le biais d'une courbe d'étalonnage en concentration de fumées noires par unité de surface. La connaissance du débit permet de calculer un indice de fumées noires en µg/m^3. La courbe d'étalonnage est établie pour un type de papier filtre et un réflectomètre donnés.
Cette technique, bien que relativement ancienne, peut être considérée comme un bon traceur de la pollution par les véhicules diesel. Cependant, elle doit être utilisée avec discernement hors des zones strictement urbaines en raison du changement de couleur des particules.

II-3-3- La radiométrie (jauge bêta) :

Le principe est de mesurer en continu des PM-10 par atténuation d'un rayonnement bêta. La nature des particules n'a qu'une faible incidence. Cette technique est reconnue équivalente à une mesure pondérale [46].

La durée d'échantillonnage minimale varie entre 1 et 24 heures suivant le type d'environnement. Il faut noter que ce type d'appareillage est soumis à des fortes contraintes administratives : (nécessité d'une autorisation de détention de sources radioactive, servitudes d'utilisation).

II-3-4- La microbalance à variation de fréquence (TEOM : Tapered Element Oscillating Microbalance) :

Cet appareil est un système de mesure en continu entièrement informatisé.
Il est constitué d'une tête de prélèvement, d'une microbalance à élément oscillant et d'une unité de contrôle et de commande. La tête de prélèvement de type PM-10 fonctionne à un débit d'aspiration de 1m^3/h.

Un filtre est installé sur un élément oscillant à une fréquence donnée. Les particules déposées augmentent la masse du système produisant une décroissance de la fréquence est enregistrée en permanence par l'unité de contrôle, elle est ensuite convertie en masse.
Des tests ont montré que l'appareil est peu sensible aux vibrations extérieures [44].
Le pas de temps de mesure est modulable de 10 minutes à 24h comme pour un analyseur de gaz conventionnel.

II-3-5- La mesure optique :

C'est la mesure par diffusion lumineuse de la concentration en nombre de particules par un compteur optique. Bien que donnant des informations intéressantes, notamment sur la taille des particules, cette méthode nécessite des études complémentaires concernant :

- l'étalonnage et son contrôle par l'utilisateur.
- la possibilité de convertir une concentration en nombre en une concentration n masse.

L'utilisation d'appareils tels que les compteurs optiques de particules semble donc pour l'instant devoir se limiter à des mesures ponctuelles permettant par exemple de choisir un site avant l'implantation d'une station.

Nous résumons, dans le tableau II.1, les principales méthodologies de prélèvement utilisées pour l'échantillonnage des particules en suspensions [47].

Tableau II.1 : Principales méthodes d'échantillonnage de la matière particulaire en suspension [47].

Dispositif de prélèvement	Sélection granulométrique	Nombre de fractions	Diamètre de particules (µm)	Débit (m^3 /h)	Durée d'échantillonnage (h)	Principe de la mesure	Analyse ultérieur des particules
Sans tête (fumée noire)	Non	1	0-5	<1	24h	Réflectométrie	Non
Sans tête (TSP)	Non	1	0.1 à 20-30	1.5	24h	Gravimétrie	Oui
HVS (TSP)	Non	1	0.1 à 20-30	66 à100	24h	Gravimétrie	Oui
Jauge bêta	Oui	1	<10	1.5	5min-24h	Radiométrie	Non
HVS-PM10	Oui	1	<10	66 à100	24h	Gravimétrie	
HVS-PM10 Impacteur à cascade	Oui	2 à 7	<10	34 à 68	24h	Gravimétrie	Oui
TEOM	Oui	1	<10	1	5min-24h	Fréquence de vibration	Non

II-4- Les filtres et membranes de rétention [41]:

Les filtres utilisés dans la collecte des particules en suspension doivent remplir trois conditions :

- Une efficacité de collection d'au moins 99% pour les particules de diamètre égale à 0,3µm et plus.
- Une hygroscopicité faible.
- Un taux d'impureté aussi faible que possible afin d'éviter les interférences dans l'analyse quantitative des composés métalliques que véhiculent les poussières.

Les filtres les plus utilises sont:

II-4-1- Les filtres à fibre de verre :

Ils ont une efficacité de collection de 99% pour les particules de diamètre supérieur à 3µm. Cette efficacité est mesurée sur les particules d'aérosols du dioctyl-phalate. L'hygroscopicité de ces filtres est faible.

L'inconvénient majeur de ces filtres provient du fait qu'ils contiennent divers éléments métalliques à des teneurs variables. Dans ce contexte, l'élément le plus gênant est le zinc qu'on retrouve lors de la minéralisation des filtres à des teneurs élevées. Les filtres Gelman type A et Whatman GF-A contiennent par exemple plus de 50 µg Zn/m^2.

II-4-2-Les filtres à membranes :

Ce sont des filtres nitrocellulose (Sartorius et Milipore) ou acétate et ester de cellulose (Gelman GA-3) qui sont solubles dans les éthers et les alcools. On peut ainsi dissoudre les filtres dans l'acétone et récupérer totalement les particules après évaporation du solvant organique. L'étape de minéralisation est ainsi facilitée.

Les filtres à membranes les plus utilisés pour la collecte des particules ont une porosité de l'ordre de 8µm. Ces filtres sont plus hygroscopiques que les filtres en fibres de verre, mais présentent l'avantage d'avoir des teneurs extrêmement faibles en éléments métalliques. Leur inconvénient est qu'ils présentent une forte résistance à l'écoulement de façon qu'on ne puisse

pas les utiliser dans les HVS pour les prélèvements à fort débit. Avec les deux types de filtres (en fibres de verre et membranes) on recueille avec une bonne efficacité même les particules très fines de 0,1µm de diamètre.

II-5- L'analyse des particules en suspension :

Un autre facteur qui conditionne la nocivité des particules est la nature des polluants associes (aérosol acide, HAP, métaux…). Les composantes acide et organique sont généralement associées aux particules les plus fines. Ceci montre l'intérêt d'analyses chimiques spécifiques s'ajoutant à la détermination d'indicateurs globaux [37].

C'est ainsi, qu'il existe des méthodes plus au moins développées qui permettent de déterminer certains constituants ainsi que leur concentration, après une préparation préliminaire de l'échantillon [42,48] :

Les éléments métalliques sont déterminés par diverses méthodes classiques:

II-5-1-La Spectrométrie d'Absorption Atomique (S.A.A) :

La SAA permet l'analyse quantitative d'un grand nombre de métaux. Est basée sur la pulvérisation d'une solution de l'échantillon dans une flamme ou les composés sont atomisés les éléments à l'état atome sont ensuite excités par une source lumineuse issue d'une cathode creuse de même élément que celui dont l'analyse et envisagée. L'énergie lumineuse absorbée par l'étape d'excitation est alors directement proportionnelle à la concentration de l'élément (loi de Lambert Beer). La SAA est largement utilisée dans l'analyse des particules fines. Elle nécessite Toute fois une minéralisation préalable des particules piégées sur le filtre.

Il existe une autre version de la SAA qui utilise à la place d'un bruleur ou de la flamme, un four à graphite chauffé électriquement à 1500-2000°C. C'est la SAA à four de graffite ou SAA électrothermique. Son avantage réside dans l'analyse des teneurs métalliques extrêmement faible (la sensibilité est 100 à 1000 fois meilleure qu'avec la SAA à flamme).



Figure II.5 : La Spectrométrie d'Absorption Atomique (S.A.A).

II-5-2- L'Emission par Plasma (ICP) [49] :

La spectrométrie par torche à plasma est une méthode physique d'analyse chimique permettant de doser la quasi-totalité des éléments simultanément (l'analyse prend quelques minutes, hors préparation).

La méthode consiste à ioniser l'échantillon en l'injectant dans un plasma d'argon, ou parfois d'hélium, c'est-à-dire que les atomes de la matière à analyser sont transformés en ions par une sorte de flamme extrêmement chaude : jusqu'à 8 000 °K, mais en général autour de 6 000 °K pour les applications géochimiques. Certains appareils sont cependant dotés d'une option dite « à plasma froid », qui chauffent à plusieurs centaines de K tout de même, permettant l'analyse de molécules organiques qui seraient autrement détruites.

L'échantillon pénètre généralement dans le plasma sous une forme condensée (liquide ou solide), et doit donc subir les changements d'état suivants : fusion (pour les solides), vaporisation, ionisation. L'introduction a lieu au centre du plasma, parallèlement au flux de gaz plasmagène.

L'échantillon doit être introduit dans le plasma sous une forme finement divisée, car les puissances utilisées (généralement inférieures à 2 000 W de puissance incidente) ne permettent pas de traiter des particules de taille supérieure au micromètre durant leur temps de résidence au sein du plasma ; si l'on veut analyser un solide, il faut donc d'abord le transformer en une suspension de fines particules, portées par un courant de gaz plasmagène.



Figure II.6 : Spectrométrie par torche à plasma ICP.

II-5-3- La Fluorescence X [50]:

La spectrométrie de fluorescence X (SFX ou FX, ou en anglais XRF pour *X-ray fluorescence*) est une méthode d'analyse chimique utilisant une propriété physique de la matière, la fluorescence de rayons X. Le rayonnement X est absorbé par l'échantillon. Suite à ce rayonnement, l'échantillon va émettre des longueurs d'ondes qui vont être réfléchies par un cristal analyseur. Ce rayonnement réfléchi va ensuite pénétrer dans un compteur à flux gazeux, puis, dans un compteur à scintillations.

Enfin, les résultats seront analysés par un ordinateur qui restituera les données sous forme de graphique. Les concentrations recherchées seront donc obtenues à partir des intensités mesurées après traitement par une électronique associée à un calculateur.
La technique d'analyse comprend deux parties [51, 52]:

II-5-3-1- Une source d'excitation :

Un rayonnement X intense excite les éléments contenus dans l'échantillon. Ceux-ci émettent leurs raies de fluorescence caractéristiques. Les longueurs d'onde permettent d'identifier chaque élément. Le spectre de rayons X est facile à interpréter, c'est pourquoi il est majoritairement employé dans l'étude des échantillons.

II-5-3-2- Un détecteur et un analyseur de rayonnement :

L'analyse d'un faisceau de rayons X poly-chromatique exige la présence d'un système dispersif. Deux types de systèmes se font concurrence : l'un utilise les phénomènes de diffraction des rayons X par les cristaux (dispersion à longueur d'onde), et l'autre la sensibilité de certains capteurs à l'énergie des photons détectés (dispersion en énergie, appelée encore de manière plus correcte, sélection).

Ils existent aussi d'autres méthodes d'analyses :

II-5-4-Les Méthodes Nucléaires :

Pour les deux dernières méthodes l'analyse peut se faire directement sur filtre.

1. La composante acide est généralement déterminée par :

- La Chromatographie Ionique.
- La Spectrométrie UV-Visible.

2. La composante organique contenant les HAP quant à elle est déterminée par des techniques chromatographiques telles que :

- La Chromatographie Liquide Haute Performance (C.L.H.P) équipée d'une détection par émission de fluorescence.
- La Chromatographie en Phase Gazeuse (C.P.G).

II-6- Les stations de mesure des polluants atmosphériques (surveillance de la qualité d'air) [53] :

Toutes les stations fixes ne sont pas identiques. Suivant leur emplacement, les polluants mesurés vont différer. Il existe 5 types de station:

II-6-1- Les stations urbaines denses :

Elles mesurent la pollution moyenne sur une agglomération. Elles sont situées dans des quartiers densément peuplés (entre 3000 et 4000 habitants/km²). Elles ne doivent pas être exposées directement à une source de pollution et représentent ainsi l'air inhalé par la majorité des citadins.

Ces stations mesurent les teneurs en particules en suspension, en oxydes d'azote (NO et NO_2), en ozone (O_2), et en dioxyde de soufre (SO_2).

II-6-2- Les stations périurbaines :

Elles sont situées en périphérie des grandes villes et ont pour rôle l'étude de l'évolution de polluants photochimiques comme l'ozone (O_3).

II-6-3- Les stations rurales :

Le but est de mesurer les teneurs de fond en ozone (O_3). Aussi, ce type de station est implanté dans des zones de population faible et éloignée de toute activité importante.

II-6-4- Les stations de proximité industrielle :

Elles doivent se trouver à proximité d'une source zone industrielle émettrice de polluants.
Leur objectif est la mesure de l'impact d'une source ponctuelle sur la qualité de l'air.

II-6-5- Les stations de proximité automobile :

Elles doivent mesurer la pollution maximale respirée en ville. Aussi, elles doivent être implantées à moins de 10 m d'une route à grand trafic routier dont la densité de circulation doit être supérieure à 10 000 véhicules par jour. Sur ces stations, il est nécessaire d'utiliser un comptage des véhicules.

Les polluants mesurés sont uniquement ceux d'origine automobile : « le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO et NO_2), les particules en suspension ».

Ainsi lors d'une campagne de mesure, il est important de caractériser le site de mesure et d'identifier le type de station étudiée.

CHAPITRE III

Méthodologie expérimentale

III-1- Introduction :

Dans ce chapitre relatif au protocole expérimental, nous présentons le site étudié, le mode de prélèvement et enfin les techniques d'analyse utilisées pour la caractérisation des échantillons.

III-2- Site de prélèvement :

Pour l'étude de la pollution issue du trafic automobile dans l'agglomération de Médéa nous avons, en fonction de l'objectif fixé, choisi un site de prélèvement qu'on peut qualifier comme un « site de proximité » c'est à dire un site qui est directement influencé par les sources émettrices en l'occurrence le trafic routier.

Le site est implanté à Ain d'hab, plus exactement au niveau du hall de technologie de l'université « juste à coté de la route ». Ce site peut être considéré comme étant représentatif pour l'échantillonnage, car il est considéré comme l'un des axes routiers du centre ville de Médéa le plus fréquenté ou on note la présence d'un important flux de piétons et trafic automobile qui est d'environ de 10080 automobiles Par jour. Sur ce site, le poste de mesure est fixé à environ 10 m de la route et 2.5 m d'altitude du sol.

A proximité de ce site, il n'existe aucune usine industrielle émettrice de particules.



Figure III.1 : Le site de prélèvement sur la carte de Médéa (Google Earth).

III-3- Mode de prélèvement :

En fonction des moyens disponibles, nous avons opté pour un prélèvement à débit moyen. Le montage expérimental utilisé est illustré en figure III.2. Il s'agit d'une pompe à vide à bain d'huile, débitmètre et un tuyau qui se termine par une tête PM-10.

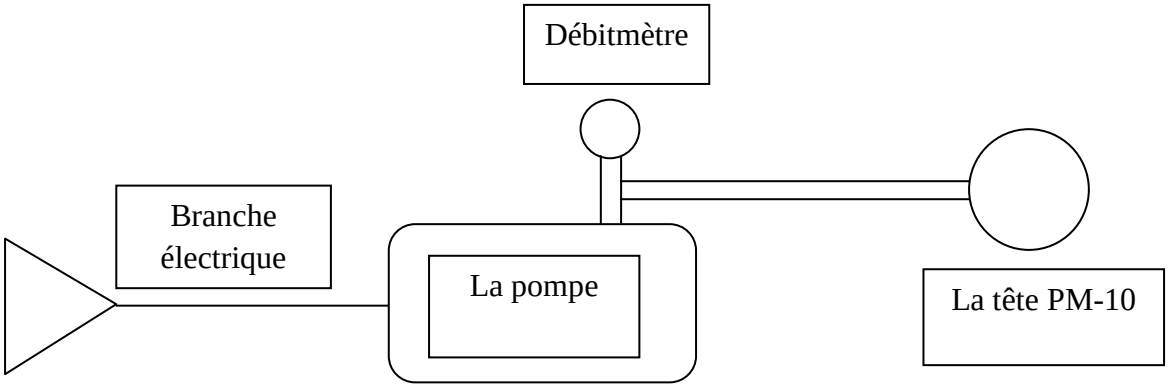


Figure III.2 : Schéma de prélèvement.

Au poste de prélèvement implanté à l'extérieure du hall de technologie les paramètres d'échantillonnage et de fonctionnement sont :

- ✓ Le débit d'aspiration est de 0.3 m^3/min
- ✓ la durée de prélèvement de chaque échantillon comporte deux jours entre (10h de minimum et 16h de maximum).
- ✓ Les filtres utilisés pour la rétention de particules sont :
- Les filtres en fibre de quartz 47mm.

On représente quelques photos ci-dessous sur le simple montage de l'expérience d'aspiration.



Figure III.3 : Montage réelle de l'expérience.

III-4- traitement et analyse élémentaire :

Afin d'effectuer une analyse élémentaire qualitative et quantitative, les échantillons ont été soumis a une analyse par SAA de marque SOLAAR.

Les échantillons étudiés par d'absorption on été auparavant minéralisés. La minéralisation acide a lieu conformément a la norme ISO 9885(international standard organisation).

Pour se faire, on coupe en plusieurs morceaux le filtre chargé de particules puis on introduit dans une erlenmeyer de 50ml contenant 20 ml de la solution suivante :

- (2/3) D'acide nitrique.
- (1/3) D'acide chlorhydrique.

La solution est portée à ébullition sous reflux avec agitation pendant deux heures. On évapore ensuite à sec pendant 30min.

La partie insoluble (carbone noir) est alors filtrée et le filtrat est transféré dans une fiole jaugée de 15 ml et on ajuste le volume avec de l'eau distillée jusqu'à le trait de jauge.

Le filtre vierge en fibres de verre servant de « blanc » subira la même procédure de minéralisation.

Les métaux lourds ainsi analysés sont ceux qui du point de vue sanitaire ont une incidence importante Pb, Ni, Co, Cd etc.…

CHAPITRE IV

Résultats Et Interprétations

IV-1- Introduction :

La période de prélèvement a été effectuée entre le 15 Avril et le 08 Mai. Durant cette dernière le nombre de filtres collectés étaient neuf (09) échantillons.

La technique d'analyse des teneurs en métaux lourds associés aux PM 10 prélevés est la spectrométrie d'absorption atomique (SAA) à flamme sur un appareil type SOLAAR. Nous avons pu étudier les 09 échantillons et les métaux analysés sont seulement le Nickel et le Plomb car le reste n'a pas été détecté.

L'exploitation et l'interprétation des résultats obtenues nous permettent d'axer notre discussion sur les points suivants :

- L'évolution temporelle des teneurs en PM10 et métaux lourds.
- L'ampleur des teneurs en PM10 et métaux lourds enregistrées.

IV-2- Etude de l'ampleur de la pollution de l'air par les PM-10 :

IV-2-1- Evolution temporelle des teneurs atmosphériques en PM-10 :

Les teneurs en PM 10 enregistrées au site de prélèvement de Médéa sont exprimées en µg /m^3. Les résultats obtenus sont illustrés sous forme des valeurs en Figure IV.2.

Qualitativement, j'ai constate que les couches de particules collectées sur les filtres sont de couleur noire ou gris foncée (Figure IV.1). Il s'agit sans doute de particules de suies et d'imbrulés comme celles qui sont émis par le trafic routier ou les fumées de combustion. Les particules naturelles sont généralement plus claires marron, ocre ou rougeâtres selon la couleur du sol de la région.

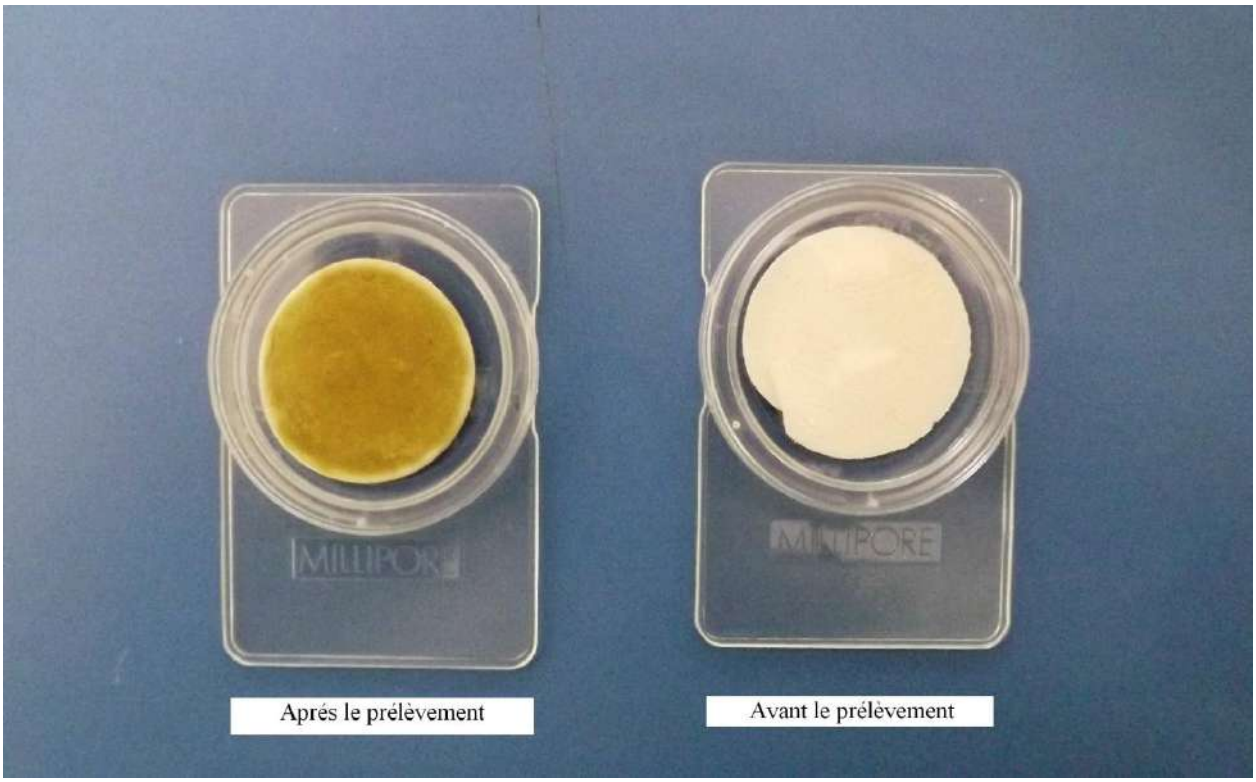


Figure IV.1 : Filtre avant et après le prélèvement.

Selon les premières constatations, nous remarquons que les teneures atmosphériques en PM-10 varient fortement d'un jour à un autre. Ces variations sont normales et attendues car elles sont liées aux variations des conditions météorologiques et de l'intensité des activités humaines. Les résultats obtenus montrent que le minimum était de 1.98 µg/m^3 et le maximum atteint une valeur de 78.89 µg/m^3 avec une moyenne qui s'élève à 14.22 µg/m^3 et une déviation standard assez élevé de 24.39 µg/m^3, ce qui explique les valeurs enregistrées durant la période d'échantillonnage (tableau IV-1 et Figure IV-2).

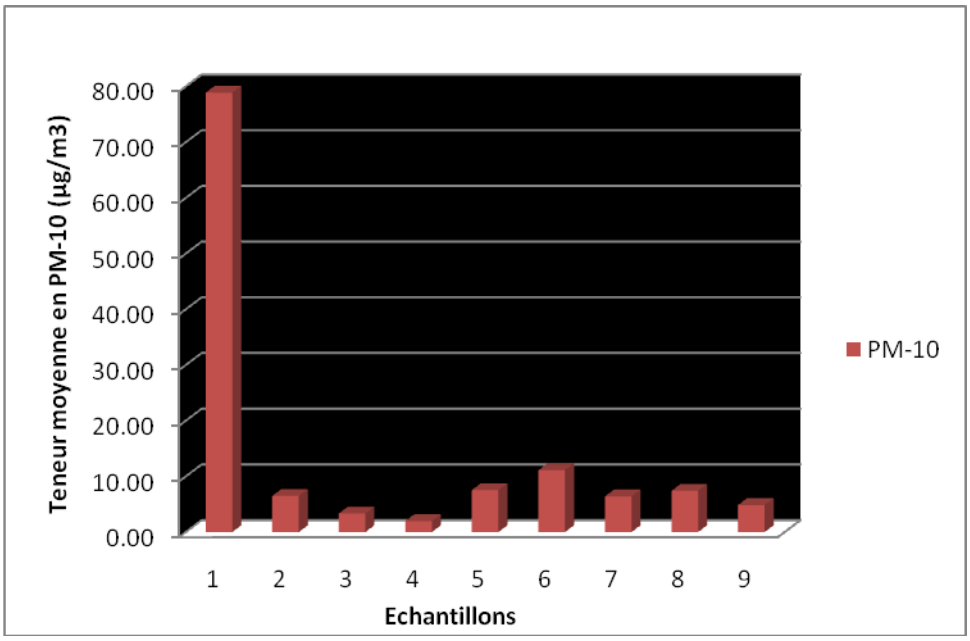


Figure IV.2 : Evolution journalière des teneurs en PM-10 dans l'air au site de Médéa (Hall de technologie).

Tableau IV.1 : Teneurs moyennes en PM-10 mesurées dans l'air au site de Médéa (Hall de technologie).

Nombre des échantillons et la période d'échantillonnage		T (°C)			Précipitation (mm)	Vitesse des vents (Km/h)	Masse en PM-10 (mg)	Teneurs en PM-10 (µg/m^3)
		T1	T2	Moy				
1	15-16 avril	22.2	21	21.6	0	7-4.1	78.89	78.89
2	17-18 avril	21.8	22.4	22.1	0	1.5-5.2	6.48	6.48
3	20-21 avril	15.5	14.7	15.1	0	5.2-4.1	3.33	3.33
4	22-23 avril	13.4	13.2	13.3	0	8	1.98	1.98
5	27-28 avril	9.8	10.2	10	0	1-19.3	7.54	7.54
6	29-30 avril	7.7	6.9	7.3	9.91-5.08	8.1-7	11.11	11.11
7	02-04 mai	6.8	7	6.9	0-3.05	4.8-11.9	6.41	6.41
8	05-06 mai	13	13.4	13.2	0.25-2.03	3.7	7.41	7.41
9	07-08 mai	22.6	23	22.8	0	3-4.8	4.86	4.86
Moyenne								14.22
Minimum								1.98
Maximum								78.89
déviation standard								24.39

Les prélèvements effectués pendant les journées ouvrables illustrent clairement l'impact de la reprise des activités humaines (entre autre trafic routier plus dense que les week-ends) en début de semaine (échantillons un (01) et six (06). Cela ne signifie toutefois

pas que le vendredi, jour de week-end, correspondra aux teneurs faibles, car les particules fines séjournent longtemps dans l'atmosphère et si les conditions météorologiques ne changent pas (direction et précipitation).

Les émissions du jour précédent persistent dans l'atmosphère et se retrouveront dans l'échantillon collecté le jour suivant. C'est le cas de l'échantillon cinq (05) qui dépasse quelque fois des teneurs des jours ouvrables.

Les teneurs les plus faibles enregistrées correspondaient sans doute à une météorologie favorable à une bonne dispersion des particules (vents fort) et lessivage par les pluies.

IV-3- Etude des métaux lourds :

Les teneurs en métaux lourds enregistrées au site de Médéa sont exprimées en µg/m^3. Afin de caractériser la composition chimique en termes de métaux lourds, nous avons procéder à la détermination des teneurs et la distribution des contributions massiques de ces derniers dans les PM-10.

IV-3-1- Niveau de pollution par les métaux lourds :

L'analyse par SAA des échantillons a permis, selon les moyens disponibles, à la détermination du Plomb et du Nickel.

Le tableau IV.2 montre les teneurs moyennes des métaux lourds mesurés en site de proximité automobile au niveau du Hall de technologie de Médéa.

Tableau IV.2 : Teneurs et pourcentages massiques du Nickel et Plomb.

Les Echantillons	Teneur moyenne (µg/m^3)		% massique des métaux lourds dans les teneurs moyennes en PM-10	
	Nickel	Plomb	Nickel	Plomb
1	Trace	0.035	0.000	0.556
2	0.003	0.029	0.049	0.463
3	Trace	0.027	0.000	0.370
4	Trace	0.027	0.000	0.397
5	0.002	0.029	0.024	0.397
6	Trace	0.030	0.000	0.397
7	Trace	0.035	0.007	0.427
8	0.004	0.031	0.047	0.370
9	0.001	0.030	0.013	0.347
Moyenne	0.0011	0.030	0.02	0.41

Dans une première lecture du tableau IV.2 nous pouvons constater que le plomb accuse les teneurs les plus élevées par rapport au nickel. Avec une teneur moyenne de 0.03 µg/m^3 il contribue pour 0.41% (Figure IV.3) de la teneur moyenne des PM-10 dans l'air. La pollution plombée au niveau de ce site respecte la valeur limite recommandée par l'OMS et l'Union Européenne qui sont respectivement 0.5 et 0.2 µg/m^3 (voir le tableau IV.5).

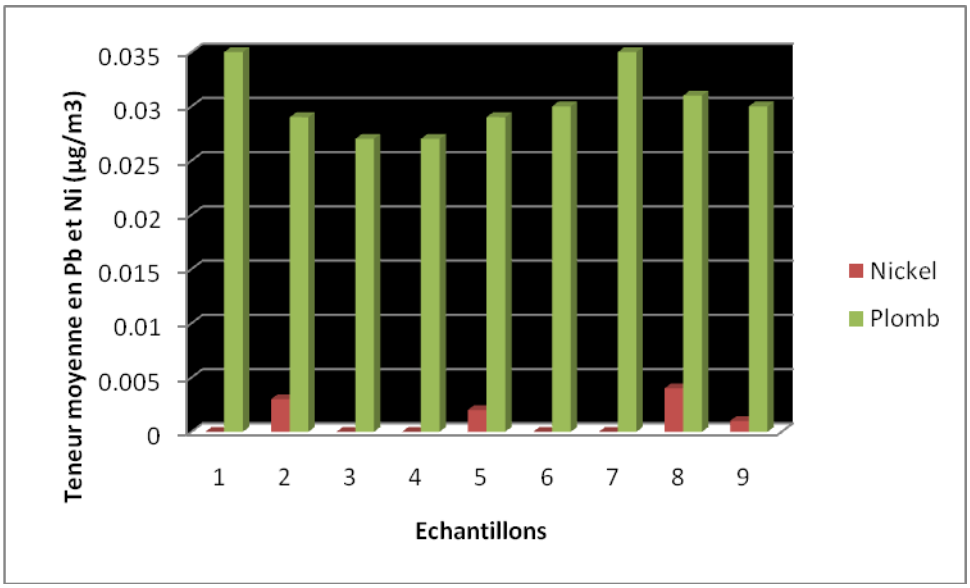


Figure IV.3 : Evolution journalière des teneurs en Plomb et Nickel dans l'air au site de Médéa (Hall de technologie).

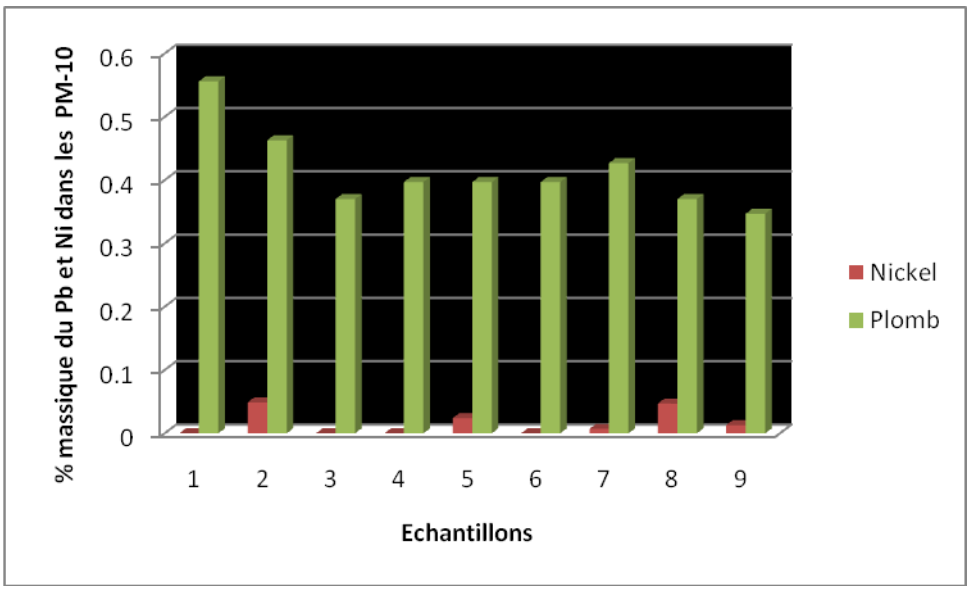


Figure IV.4: Les fractions massiques du Plomb et Nickel dans les PM-10.

Selon l'histogramme ci-dessus, nous remarquons que les teneures atmosphériques sont variées et différents complètement d'un échantillon à un autre.

Nous avons constaté aussi que les échantillons (1, 3,4, 6 et 7) sont pauvres en élément du Nickel et tous les échantillons sont riches en Plomb qui est caractéristique de la combustion issue du trafic routier.

On observe aussi, que les teneurs détectées et en particulier sur l'élément Nickel, correspondent à une atmosphère plus ou moins instable. Cela est dû probablement au phénomène de balayage de l'atmosphère par le vent qui a transporté les poussières vers le site de prélèvement.

IV-4- Comparaison aux normes nationales et situation par rapport à d'autres pays :

Pour situer l'ampleur de la pollution de l'air par les particules fines mesurée au site de Médéa, Il est utile de comparer les niveaux observés aux normes et valeurs guides internationales.

La réglementation sur les PM-10 est assez récente et n'existe que dans un nombre restreint de pays. Elle tend de plus en plus à remplacer l'ancienne réglementation qui régissait les TSP (particules totales en suspension).

Le tableau IV.3 résume les normes et valeurs de guides des PM-10 en vigueur dans certains pays.

L'OMS qui a toujours considéré qu'il n'y a pas un seuil de sécurité en dessous, il n'y aurait pas d'effets sur la santé [54], vient de promulguer de nouvelles recommandations dans sa très récente révision des normes [55]. Chose intéressante ces nouvelles directives s'adressent à toutes les régions du monde, alors que traditionnellement l'OMS établit des recommandations uniquement pour les pays d'Europe.

Pour l'Algérie qui a promulgué en 2006 un décret fixant les normes en matière de pollution atmosphérique (CO, SO2, NO2, O3 et particules en suspension), le législateur utilise le terme vague de particules fines en suspension sans préciser s'il s'agit des particules totales

en suspension (TSP de diamètre < 30µm) ou de PM-10. Dans ce décret on retrouve un objectif de qualité de 50µg/m^3 et une valeur limite de 80µg/m^3 en moyenne annuelle [56].

Parallèlement à ces normes, Airparif, l'organisme français qui gère le vaste réseau de mesure d'Ile de France, recommande la limite d'exposition suivante [57] :
PM-10: 25 - 40 µg/m^3.

Tableau IV.3 : Normes et valeurs guides régissant les PM-10.

Pays	Valeur limite en µg/m^3	Réf.
Etats-Unis	150 Maximum journalier (P99 sur 3 ans). 50 Moyenne annuelle de teneurs journalières (sur 3 ans).	[58]
Union Européenne : - Jusqu'à 2005	50 limites journalières à ne pas dépasser plus de 25 fois par an. 20 moyennes annuelles.	[59-60]
- Jusqu'à 2010	50 limites journalières à ne pas dépasser plus de 7 fois par an. 20 moyennes annuelles.	
Suisse	50 moyennes sur 24 heures. 20 moyennes annuelles.	[61]
Suède	100 p98 de moyennes sur 24h	[61]
PM10 OMS :	50 moyennes sur 24 heures. 20 moyennes annuelles	[62]
Algérie	80 valeurs limite (moyenne annuelle pour particules fines en suspension). 50 Objectif de qualité.	[56]

Si on considère que nos prélèvements sont très riches en fumées noires, on peut dire que les niveaux de pollution enregistrés sont faibles pendant la période d'étude.

La comparaison entre les teneurs en PM-10 mesurées à Alger et celles relevées dans certaines villes (tableau IV.4), montre aussi que Médéa accuse, en site influencé par le trafic routier, des niveaux de pollution très faible en particules inhalables (PM-10). En l'absence de données publiées sur des villes de la rive sud de la Méditerranée qui du point de vue, infrastructure, parc automobile et climat se rapprochent le plus d'Alger, nous avons essayé d'inclure dans cette comparaison des villes de pays dits émergents tels que Mexico, Marketa

Domasova (Tchéquie) et Tirgu Mures (Roumanie) et des villes de la rive nord de la Méditerranée telles que Marseille et Barcelone.

Cette comparaison montre aussi que Médéa est confrontée aux mêmes problèmes de pollution par les particules que les villes européennes. Ce tableau montre par ailleurs que nous n'avons pas atteint la situation dramatique qui prévaut au Caire.

Tableau IV.4 : Teneurs atmosphériques en PM-10 et PM-2,5 mesurées dans certaines villes.

Pays - Villes	PM-10 ($\mu g/m^3$)	PM-2,5 ($\mu g/m^3$)	Période	Remarques	Références
Hongrie (5 villes)	60	40	11/1995 au 09/1996	Site urbain	[63]
République Tchèque (4 villes)	75	52			
Roumanie (4 villes)	70	43			
Mexico	-	96.4	06/1999 au 06/2000	Site de proximité (mesure sur 2 mois)	[64]
Barcelone (Espagne)	49.80	35	06/1999 au 06/2000	Site urbain	[65]
Marseille	29	-	1999	Site urbain	[66]
Paris	22	-	2000	Site urbain	[67]
Strasbourg	20	-	2000	Site urbain	[67]
Londres City	35	22	2003	Site de proximité (80.000 veh/j route à 6 voies)	[68]
Le Caire (Egypte)	220 142	135 48	Hiver 1999 Eté 2002	Site de proximité Site urbain résidentiel	[64]
USA	45	-	2001	Site urbain	[69]
Alger centre	60-66	-	2003	Sites urbains influencés par le trafic routier	[70]

IV-5- Comparaison des normes nationales avec les données de l'étude :

On observe dans ce tableau ci-dessous que les normes nationales des teneurs enregistrées sont plus moins que les teneurs enregistrées à Ain d'hab (Hall de technologie), par exemple la valeur limite du Plomb en moyenne annuelle est de 0.5 µg/m^3, et la valeur minimale de l'étude est de 0.035µg/m^3, et aussi on remarque la différence entre la valeur cible de nickel en moyenne annuelle est de 20 ng/m^3 et dans notre étude la valeur minimale est égale à 4 ng/m^3, cette dernière est moins dangereux par rapport au Plomb. Donc cette étude comparative montre qu'en trafic routier à Médéa, la pollution pour les métaux lourds n'est pas très excessive au cours de la période d'étude.

Tableau IV.5 : Les normes nationales [71].

Les particules	Objectifs de qualité de l'air	Observations
PM 2.5	**10 µg/m^3** - moyenne annuelle (particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 2,5 micromètres)	Article R221-1 Modifié par le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 - art.1 Version en vigueur au 7/01/2011
Plomb (Pb)	**0,25 µg/m^3** - moyenne annuelle	
Les particules	Valeurs limites	Observations
PM 2.5	**25 µg/m^3** - moyenne annuelle - marge de dépassement autorisée avant la date d'applicabilité : 2010 = 4µg/m3 ; 2011 = 3µg/m^3 ; 2012 = 2µg/m^3 ; 2013 et 2014 = 1µg/m^3	à partir de 2015
Plomb (Pb)	**0,5 µg/m^3** - moyenne annuelle	Article R221-1 Modifié par le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 - art.1 Version en vigueur au 7/01/2011
Les particules	Valeurs cibles	Observations
PM 2.5	**20 µg/m^3** - moyenne annuelle	Article R221-1 Modifié par le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 - art.1 Version en vigueur au 7/01/2011
Nickel (Ni)	**20 ng/m^3** - moyenne annuelle du contenu total de la fraction PM10	Applicable au 01/01/2013

IV-5-1-Facteurs d'enrichissement :

L'enrichissement de l'atmosphère en composés issus d'une pollution quelconque se mesure par les fractions d'enrichissement qu'on détermine par rapport à un élément référence.

La référence la plus souvent utilisée est le Scandium Sc qui est un élément émis naturellement par la croute terrestre et qu'on ne trouve généralement pas dans les émissions artificielles [72].

Le facteur d'enrichissement F est défini par :

$$F = \frac{\dfrac{\text{Teneur de l'élément dans l'air}}{\text{teneur Sc dans l'air}}}{\dfrac{\text{Teneur de l'élément dans le sol}}{\text{Teneur de Sc dans le sol}}}$$

Pour les teneurs des éléments dans le sol, on utilise usuellement des valeurs déterminées par Masson [73] et que nous présentons en annexe. La teneur de Sc s'y élève à 22µg/m^3.

Pour la teneur en Sc dans l'air urbain, la littérature donne une moyenne de 0,20 ng/m^3 [74]. Cette valeur concorde avec les teneurs en Sc mesurées par activation aux neutrons dans des prélèvements effectués en 1995 à Alger.

Les métaux peuvent être répartis en deux classes :

- Le Nickel non ou faiblement enrichi qui provient aussi bien d'origine naturelle que d'origine anthropique et dont le facteur d'enrichissement est en général inferieur à 10. Dans notre cas le facteur moyen est de 5.5.
- Le Plomb qui est moyennement enrichi (F allant de quelque dizaine à quelques centaines) et d'origine anthropique. Dans notre cas le facteur moyen est de 150.

Dans la littérature, on relève souvent en milieu urbain des facteurs l'enrichissement supérieurs à ceux déterminés dans la présente étude, à Paris par exemple, le Pb a un facteur F supérieur à 10000 [75].

Tableau IV.6 : Facteurs d'enrichissement des éléments mesurés à Médéa (halle de technologie)

élément	Facteurs d'enrichissement moyen	Fourchette de variation
Pb	150	135-175
Ni	5.5	0-20

IV-6-Le plomb en Algérie :

Le plomb présent dans l'atmosphère provient essentiellement de la combustion des carburants ou il est dans les essences normal et super comme additif antidétonant.

En Algérie, on utilise comme additif le tétra éthyle de plomb à raison de 0,4 g Pb/l de carburant. Certaines raffineries, pour corriger le déficit en aromates, utilisent parfois des teneurs de 0,6 à 0,7 g Pb/l [76].

Après combustion d'essence, le plomb est rejeté dans l'atmosphère sous forme de fines particules véhiculées par les gaz d'échappement. Ce plomb est émis sous des formes chimiques telles que $PbCl_2$, $PbBr_2$, PbBrCl qui peuvent ensuite être converties en sulfates, carbonates et oxydes [77]. La présence du bromure de plomb explique la bonne corrélation qu'on trouve généralement entre le Pb et le Br.

Une partie des particules plombifère se dépose avec les suies dans les pots d'échappements ou elles forment des grosses particules par agglomération et adhérent plus ou moins aux parois du tuyau. En phase de démarrage ou d'accélération, ces grosses particules sont évacuées dans l'air ou elles sédimentent rapidement.

La majeure partie, soit environ75% du Pb contenue dans le carburant est cependant émise dans l'atmosphère sous forme de fines particules qui viennent enrichir les PM-10 issues d'autres sources [77]. C'est ce plomb qui est étudié dans la collecte et l'analyse des PM-10.

L'étude du transfert du Pb de l'air au sang a donné lieu à une réduction linéaire du type [78-79] :

$Pb_{sang} = (1{,}216 * Pb_{air}) + 15{,}65$……Equation 1.

Ainsi, en milieu non pollué, Pb_{sang} est de l'ordre d'inferieure à 15µg/dl.
Donc pour la valeur trouvée dans l'air au site de prélèvement de Médéa.
Pour $Pb_{air} = 0{,}035 µg/m^3$
Et pour le $Pb_{sang} = 15{,}69 µg/dl$

Dans plusieurs pays, la teneur moyenne, toutes populations confondues est de l'ordre de 17µg Pb/dl, un tel niveau régnerait aussi dans notre pays en milieu urbain. Des teneurs dans le sang jusqu'à 80µg/dl, chez les adultes et 50µg/dl chez les enfants sont considérés comme étant acceptables [72].

Globalement, les teneurs moyennes que nous avons mesurées sont assez raisonnables et excessives dans certains cas et le taux d'enrichissement de l'atmosphère en Pb enregistré est clair, mais nous sommes loin des rapports alarmants et les teneurs que nous avons mesurées sur le site de prélèvement à Médéa ne sont pas plus inquiétantes.

Conclusion

Les études sur la qualité de l'air, le traçage des sources de pollution ou de l'impact des particules atmosphériques sur la santé ont profité des avancées fulgurantes dans le domaine du prélèvement des particules et de l'analyse des éléments traces au cours des dernières décennies. Alors la pollution de L'environnement a pris une allure inquiétante, particulièrement en Algérie.

C'est dans ce contexte que nous avons réalisé ce travail portant sur l'étude la pollution de l'air par les PM-10 à Médéa au niveau du Hall de technologie de l'université. En plus de l'évaluation des niveaux de pollution, nous avons étudiés les teneurs atmosphériques de certains éléments, principalement les métaux lourds, véhiculés par les aérosols atmosphériques.

Les prélèvements des PM-10 ont été effectués par une pompe équipée d'une tête PM-10 sur une durée de prélèvement.

L'analyse des échantillons a été effectuée par la technique de spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

Les résultats obtenus montrent qu'en ce site qui est très bien ventilé, la pollution atmosphérique par les matières particulaires fines (PM-10) n'atteint, relativement à d'autres sites (à Alger ou dans d'autres villes), pas des seuils très inquiétants. On relève que seul 1% des échantillons dépassent la valeur limite journalière réglementée.

L'analyse par SAA des échantillons collectés, montre que les métaux lourds (Pb et Ni) contenus dans les PM-10, n'atteignent pas des niveaux très élevés. Les teneurs sont en général bien en dessous des limites fixées par les normes internationales.

L'impact du trafic routier étant clairement mis en évidence, c'est sur cette source émettrice que des mesures doivent être prises pour réduire les niveaux de pollution par les particules fines et pour cela nous proposons les recommandations suivantes :

- Rénover le parc automobile.
- l'intégration du pot catalytique dans tous les véhicules.
- L'utilisation des énergies propre comme le gaz naturel et le GPL comme carburant.

- Améliorer la fluidité de la circulation.
- Améliorer le transport public pour réduire les déplacements individuels motorisés.

Enfin, pour mieux cerner l'étude il est recommandé de réaliser d'autres compagnes de mesure sur longue durée dans différents sites de Médéa.

Références

Bibliographiques

[1] : http://www.memoireonline.com/07/08/1275/m_etude-sources-polluants-atmospheriques-region-de-bejaia1.html, Journal Officielle, 1983.

[2] : http://www.notre-planete.info/environnement/pollution_air/polluauto_2.php.

[3] : L. Herrebaut et J. Beguin : Mesure des pollutions particulaire et gazeuse, Mesure Analyse - Contrôle, Nuisance et Environnement, France, pp. 24-26Mai, 1976.

[4] : J.P. Detrie : La pollution atmosphérique, Edition Dunod, Paris, 1969.

[5] : J .Martin et L.Y. Masteyer : Santé et pollution de l'air, Presses Polytechniques, Vol. 145, Romandes, Suisse, pp. 46-59, 1988.

[6] : M. Barnea, P. Ursu : Pollution de l'atmosphère et protection d'écologie, Edition Eyrolles, Paris, 1974.

[7] : R. Kerbachi : Cours de pollution atmosphérique 5ème année, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2005.

[8] : Ontario : Particules en suspension, Qualité de l'air, Ministère de l'Environnement et de l'énergie, canada, Mai 2000.

[9] : C. Dang, T. P. Fontelle et R. Leygonie : Les émissions de poussières et généralités sur leur mesure à l'émission. Poll. Atm., Janvier-Mars, pp. 38-46, 1990.

[10] : P. H. Brumer : Approche globale des problèmes d'environnement lies à l'incinération d'ordures ménagères. Poll. Atm., Juillet-Septembre, pp. 301-308, 1988.

[11] : C. Magdelaine : Les PM10 : Des particules de diamètre > 2,5 microns, Les particules atmosphériques, 2001-2002. webmaster@notre-planete.info

[12] : C. Magdeleine : Les particules inférieures à 2,5 microns (PM2.5), Les particules atmosphériques, 2001-2002. webmaster@notre-planete.info

[13] : R. Leygonie : Les métaux lourds dans l'air : source, émission, mesures et effets, Poll. Atm., Juillet-Septembre, pp. 63-74, 1993.

[14] : P. Zannetti: Air pollution modelling theories, computational methods and avaible software, computational mechanics publication, 1990.

[15] : http://environnement.doctissimo.fr/un-air-plus-pur/pollution-et-sante/Quels-effets-sur-la-sante-.html

[16] : OMS, « Health relevance of particulate matter from various sources », Report on a WHO report, Bonn, Germany (2007).

[17] : OMS, « Quantification of health effects of exposure to air pollution », Copenhagen (2001).

[18] : H. Karlsonn, Karolinska Institutet, « Particularly harmful particules? A study of air born particles with a focus on genotoxicity and oxidative stress » (2006).

[19] : U. S. EPA, « Air Quality Criteria for Particulate Matter – Volume II of II », Washington DC, EPA 600/P-99/002aF-bF, (2004).

[20] : Primequal-Predit, « Pollution par les particules atmosphériques : état des connaissances et perspectives de recherche », La documentation française, Paris (2005).

[21] : Commission Européenne (2005), « CAFE Cost-Benefit Analysis (CBA): Baseline Analysis 2000 to 2020 ».

[22] : E. Boldo, S. Medina, A. LeTertre, F. Hurley, H-G. Mücke, F. Ballester, I. Aguilera & D. Eilstein on behalf of the Apheis group, « Apheis: Health impact assessment of long-term exposure to PM2.5 in 23 European cities », European Journal of Epidemiology (2006).

[23] : Commission européenne, « Nanotechnologies: Preliminary risk analysis on the basis of a workshop organized in Brussels on 1-2 march 2004 by the Health and Consumer Protection Directorate General of the European Commission » (2004), 143 pages.

[24] : Agence Nationale de la Recherche, « Santé-environnement et Santé-travail, Nouvelles perspectives de recherches », Document d'orientation scientifique - Séminaire de prospective scientifique et de lancement du programme de recherche du Plan national santé-environnement et du Plan santé-travail (2005).

[25] : A. Lombard, « Les dangers toxiques des nanoparticules », site internet Vivant Infos (2006), (http://www.vivantinfo.com/index.php?id=144).

[26] : G. Oberdorster, E. Oberdorster & J. Oberdorster, «Nano-toxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles », Environ Health Perspect, 113, 823-39, (2005).

[27] : Afsset, «Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement, 248 p, (2006).

[28] : R. Lefèvre, P. Ausset, « Les effets de la pollution atmosphérique sur les matériaux du patrimoine bâti : la pierre et le verre », Pollution Atmosphérique, 172, 571-588, (2001).

[29] : P. Masclet, H. Cachier, « L'aérosol atmosphérique. Caractéristiques physico-chimiques », Analusis Magazine, 26, n°9, M11-17, (1998).

[30] : P. Chazette, « Aérosol anthropique : impact climatique et environnemental », Techniques de l'Ingénieur, Extrait de la collection, 10, RE 21-1 à 11, (2004).

[31] : Dossier SAM : Les métaux lourds – Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation – Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne (1997).

[32] : Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement : Réseau de contrôle pour l'étude et la caractérisation des émissions atmosphériques des installations de valorisation de déchets en région wallonne – Institut Scientifique de Service Public (ISSEP) 2003.

[33] : F. MARLIERE, N. BOCQUET, M. ROUEZ – Rapport final : Métaux-Mercure – Laboratoire Central de la Surveillance de la Qualité de l'Air – Décembre 2002.

[34] : http://fr.wikipedia.org/wiki/Norme_de_qualit%C3%A9_de_l'air.

[35] : Journal officiel de la république algérienne N°1 08 janvier 2006.

[36] : Australian Government, Department of the Environment and Heritage (2004), « State of the Air: Community Summary 1991-2001 », site internet: http://www.environment.gov.au/atmosphere/airquality/publications/standards.html (National Standards for Criteria Air Pollutants)

[37] : F. Mathé, J.L. Houdret, J.C. Galloo et R. Guillermo : La mesure des particules en suspension dans l'air ambiant : Applications dans les réseaux français de surveillance de la qualité de l'air, EDP Sciences, Wiley-VCH, Analusis Magazine, V°26, N°9, France, 1998.

[38] : AFNOR : Détermination d'un indice de fumées noires, Norme NF X 43-057, Paris, 1977.

[39] : M. O. Ralph, C. F. Barrett and S. L. Upton: Further wind tunnel measurements of the inlet efficiency of the Environnement SA type PPA60 suspended particle sampler, Warren Spring Laboratory Laboratory Report, Department of industry, Stevenage (UK), 1983.

[40] : Mc A. R. Farland and C. A. Ortiz : Characterization of Sierra-Andersen PM-10 inlet Air Quality Laboratory Report, Civil Engineering Department Texas University, College Station USA, 1983.

[41] : N. Hatem : Contribution à l'étude par classe granulométrique des aérosols particulaires et des métaux lourds qui leurs sont associés à Alger, Ecole Nationale Polytechnique, 2003.

[42] : Klassen et al: Casarett and doll's toxicologiy, The basic science of poisons, 3èmeÉdition, 1986, pp. 343.

[43] : R. Kerbachi, M. Boughedaoui, N. Koutai et T. Lakki : La pollution par les oxydes d'azote et l'ozone dans la ville d'Alger. Poll. Atm., Avril - Juin, 1998, pp 89-101.

[44] : F. Mathé and S. Sauvage : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (L.C.S.Q.A.) – École des Mines de Douai, Rapport final d'activités, Convention Ministère de l'Environnement, N°17/96, Novembre 1997.

[45] : CEN: Field test procedure to demonstrate reference equivalence of sampling methods for the PM-10 fraction of suspended particulate matter, Norme européenne EN 12341, Bruxelles, 1997.

[46] : AFNOR : Mesure de la concentration des matières particulaires en suspension dans l'air ambiant – Méthode par absorption de rayons bêta, Norme NF X 43-017, Paris, Juillet 1984.

[47] : A. Wadge and M. Hutton: The cadmium and lead content of suspended particulate matter from a UK refuse incinerator, Sci. Tot. Env, Vol. 67, 1987, pp. 91-95.

[48] : F. Ramade : Eléments d'écologie, Action de l'homme sur la biosphère, MC Graw Hill, Paris, 1982.

[49] : http://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrométrie par torche à plasma.

[50] : http://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie_de_fluorescence_X

[51] : http://www.culture.gouv.fr/culture/conservation/fr/methodes/fluor_x.htm#Principe.

[52] : http://espace-svt.ac-rennes.fr/travaux/ifremer/francais/princip1.htm

[53] : F. Boutonnet : Etude des métaux lourds dans l'air ambiant en région centre, 2003-2004.

[54] : A. Renoux : Ce qu'il faut savoir sur l'aérosol atmosphérique, Poll. Atm., Janvier – Mars, 1990, pp. 10-16.

[55] : OMS: Air quality guidelines for particulate matters, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global Update, Genève, 2005.

[56] : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire, Décret exécutif N°06-02 du 7 Janvier 2006 définissant les valeurs limites, qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique, J. O., N°1, 2006.

[57] : Airparif, Surveillance de la qualité de l'air de l'Ile de France, Les particules très fines, une pollution qui a pris du poids, Actualité n°1, Avril, 1998.

[58] : W. Shaw : La pollution par les particules atmosphériques, Pour la Science, Octobre, 1987, pp. 22-31.

[59] : G. Madelain : Métrologie des aérosols, Poll. Atm., Janvier -Septembre, pp. 270-274.

[60] : Schroder. W., M. Dobson, D.M. Kane et N. D. Johnson : Toxic trace elements associated with airborne particulate matter, A. Review. J. Air Poll. Control Ass, Jacarta, 1987, pp. 1267.

[61] : K. O. Ikawa.: Trace analysis atmospheric, John Wiley et Sons, London, 1997.

[62] : OMS: Air quality guidelines for particulate matters, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global Update, Genève, 2005.

[63] : D. Houthuijsa, O. Breugelmansa and G. Hoekb : PM10 and PM2.5 concentrations in Central and Eastern Europe "results from the Cesar study", Atm. Env., Vol 35, 2001, pp. 2757–2771.

[64] : E. Vega, I. Garcia et al: Application of a chemical mass balance receptor model to respirable particulate matter in Mexico –Cities, j. A. W. M. A, Vol.47, 1997, pp.524-529.

[65] : Q. Xavier, A. Alastueya, S. Rodrigueza et al: PM10 and PM2.5 source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain, Atm. Env., Vol 35, 2001, pp. 6407–6419.

[66] : Rapport du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement Bilan chiffré de la qualité de l'air dans les grandes agglomérations, Paris, France, 2000.

[67] : Association de Surveillance de la Qualité de l'Air (ASQ), France, 2000.

[68] : A. Charron and R. M. Harisson, 2nd Conf. Environment an transport, Proceedings N°107, Vol.1, Inrets Ed., France, 12-14 juin 2006, pp. 255-262.

[69] : ICP, EHAZ 94 05/PBOL, Regional office of Europe, Word Heath Organisation, Copen-Hagen, 1995.

[70] : R. Kerbachi, M. Boughedaoui et R. Joumard : Etude des PM-10 dans l'agglomération d'Alger, 9th Colloque International Transport and Air Pollution, 5-7 juin 2000, Avignon, France.

[71] : httpwww.atmo-alsace.netmediasproduitsNormes.

[72] : J.D.Butler, « Air pollution Chemistry », Academic Press London, 1979.

[73] : N.Ocher . « Contribution à l'étude, par classe granulométrique, des aérosols particulair sur un site de proximité à l'ENP » Thése magistére ENP 2006.

[74] : Y.Hashimoto,Sekine and T.Otoshi, « Atmospheric Aluminium For human activities ».Atm. Env ., Vol, n°3,pp 295-300,1992.

[75] : A. Person, F petit-coviaux, Y. Le moullec et B.Festy, «Contribution des principales sources en métaux et métalloïdes à la pollution particulaire dans l'agglomération parisienne ». Poll. Atm. N°139, pp 75-88,1993.

[76] : A. Boukhadoum. «Etude des particules en suspension dans l'agglomération d'alger »,

PFE. ENP 2006.

[77] : J. C. Guibert, «Carburant et moteurs». Volume 1 et 2, Publication de l'IFP, et Tecnip, paris, 1987.

[78] : R. D. Snee, S. P. bailey and Al, « Variation in the relationship between Blood-lead andair-lead». Atm Env., Vol 19, n°6, pp017, 1020, 1985.

[79] : A. Columbo, «The underdefined nature of the blood lead-aie lead relationship from biological and statistical grounds ». Atm Env., Vol 19, n°9, pp 1485, 1493, 1985.

ANNEXE

Teneurs des éléments dans le sol d'après Masson

Si	277.2 mg/m^3
Al	81.3 mg/m^3
Ca	36.3 mg/m^3
Mg	20.9 mg/m^3
K	25.9 mg/m^3
Fe	50 mg/m^3
P	1.05 mg/m^3
Cr	100 µg/m^3
Mn	950 µg/m^3
Co	25 µg/m^3
Ni	75 µg/m^3
Cu	55 µg/m^3
Zn	70 mg/m^3
Sr	375 µg/m^3
Ba	425 µg/m^3
Pb	13 µg/m^3
Br	2.5 µg/m^3
Cd	0.2 µg/m^3
Sc	22 µg/m^3

ملخص

هذا العمل ركز على دراسة تلوث الهواء بواسطة المعـادن الثقيلـة الـتي ترتبـط مـع PM-10 فـي موقـع قريب التي تمر وتتجمع فيه السيارات لمدينة المدية. وتبين لنا أن مستويات تلوث الهواء بواسطة الجسيمات الدقيقة والمعادن المرتبطة بها من أن احتراق محركات السيارات المختلفـة ليسـت عاليـة فـي موقـع الدراسـة مقارنـة مـع الدراسات السابقة في بعض المواقع في الجزائر، أو في المدن الأجنبية مع مناخ مماثل.

وسـجلت الـتركيزات المتوسـطة بـالترتيب التـالي: 14,22 µg/m^{3}للجزيئـات 0.00011 ،PM-10 و 0.03 µg/m^3 هذا من أجل النيكل و الرصاص.

الكلمات الجوهرية: PM-10، تلوث الهواء، حركة المرور، المعادن الثقيلة، الرصاص، SAA.

Résumé

Le travail porte sur l'étude de la pollution de l'air par les métaux lourds qui sont associés au PM-10 en un site de proximité automobile au niveau de l'agglomération de la ville de Médéa. On montre que les niveaux de pollution de l'air par les particules fines et les métaux qui leurs sont associés issus de la combustion des différents moteurs des voitures ne sont pas élevés au niveau du site étudié par rapport à des études réalisées antérieurement dans quelques sites d'Alger, ou dans des villes étrangères caractérisées par un climat similaire.

Les teneurs moyennes enregistrées sont de l'ordre de 14,22 µg/m3 pour les PM-10 et de 0.00011 et 0.03 µg/m3 pour le Nickel et le Plomb.

Mot-clef : PM-10, Pollution de l'air, trafic routier, Métaux lourds, Plomb, SAA.

Abstract

The aim of this work focuses on the study of air pollution by heavy metals that are associated with PM-10 in a car near by site at the agglomeration of the city of Médéa. We show that levels of air pollution by fine particles and their associated metals from the combustion of various car engines are not high at the study site compared to previous studies in some sites Algiers, or in foreign cities with a similar climate.

Average grades are recorded in the order of 14.22 µg/m^3 for PM-10 and 0.00011 and 0.03 µg/m^3 for Nickel and Lead.

Keyword: PM-10, Air Pollution, traffic, heavy metals, lead, SAA.