

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الجيلالي بونعامة خميس مليانة
Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de la Technologie



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en Génie des Procédés

Spécialité : Génie des Procédés Environnementaux

Thème :

Détermination du niveau de la pollution de l'air par le plomb d'origine routière dans la ville de Khemis Miliana

Devant le jury composé de :

- | | | | |
|-----------------|------------------|------------|----------------------|
| – Mme F.HALAIMI | MAA | Présidente | Université de KHEMIS |
| – Mme C.MESLI | MAA | Examineur | Université de KHEMIS |
| – Mr D.Addad | MAA | Encadreur | Université de KHEMIS |
| – Mlle O.HAMRAT | Ingénieur d'état | Encadreur | Université de KHEMIS |

Présenté par :

BARRY Ibrahima Mamoudou
KONATE Ténéman

Année universitaire : 2017 / 2018

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier les membres du jury : Mme. F.HALAIMI et Mme. C.MESLI pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos vifs remerciements vont également à nos encadreur : Mr D.ADDAD et Mlle O.HAMRAT, pour leurs précieux conseils, leur disponibilité et leur aide durant toute la période de travail.

Enfin, nous nous devons aussi de remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Ces personnes sont : le directeur de l'école paramédicale, la doyenne de la faculté des langues, le directeur de la résidence universitaire, les différents ingénieurs des laboratoires de GP, de Chimie 1, de chimie 2, de chimie 3, de SNV, l'ingénieur de la direction des transports, l'ingénieur du CRAPC et le responsable du district de NAFTAL-khemis.

Dédicaces

Moi, Konaté Ténéman aujourd'hui finissant en master 2 je dédie ma présente étude :

A mon très cher père Siriman aujourd'hui disparu et ma chère mère Mariam pour tous leurs sacrifices tout au long de mes études,

A mes chères sœurs et à toute ma famille pour leurs encouragements et leurs soutiens,

A ma seconde famille à khemis pour leur disponibilité tout au long de ce travail,

A une personne très spéciale Kadidia D. pour ses encouragements permanents.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux et le fruit de votre soutien infailible.

KONATE Ténéman

Ce modeste travail est dédié à :

A mes parents, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de leurs sacrifices, leur amour et leurs prières tout au long de mes études, Que Dieu leur procure une bonne santé et une longue vie ;

A mes chères sœurs et à toute ma famille pour leurs conseils et leurs soutiens,

A mes amis et à ma famille khemissoise pour leur présence et accompagnement durant ce travail,

Trouvez dans ce travail, l'expression de ma profonde gratitude et reconnaissance.

BARRY Ibrahima Mamoudou

المخلص:

يهدف عملنا إلى دراسة كمية للتلوث الجوي الناتج عن تواجد حبيبات عنصر الرصاص المنبعثة في الهواء من طرف وسائل النقل و علاقة العوامل الجوية بترسباته. بحيث قمنا بوضع شبكة نقاط مثلثة الشكل على طول الطريق الوطني رقم 04 في الفترة التي تمتد بين مارس و أبريل 2018 من أجل استقطاب و تجميع الترسبات بفعل التساقطات و الترسبات التلقائية ثم تحديد كميتها و تحليلها باستعمال تقنية تحليل الطيف الناتج عن الامتصاص الذري. النتائج المتحصل عليها أظهرت ارتفاع مستوى التلوث و ارتفاع كمية عنصر الرصاص في نواحي المدرسة الوطنية للتعليم شبه الطبي أين سجلنا كمية تفوق الحدود المقننة.

الكلمات الرئيسية: الغلاف الجوي ، والتلوث ، والرصاص ، وحركة المرور على الطرق

Résumé :

Ce travail a pour objectif, l'étude sur la contamination de l'atmosphère par le plomb issu du trafic routier au niveau de la ville de Khemis-Miliana suivant les conditions météorologiques. Pour cela un réseau de mesure constitué de trois jauges a été mis en place autour de l'axe routier de la Route Nationale 04 du 11 Mars au 09 Avril 2018, les retombées ainsi obtenues sous forme de dépôt humide et total sont dosées et analysées par la spectroscopie d'absorption atomique SAA pour en déduire un niveau de pollution au plomb routier assez conséquent au niveau de l'école paramédicale où on a enregistré des teneurs maximales en plomb dépassant les normes.

Mots clés : atmosphère, pollution, plomb, trafic routier

Abstract :

This work aims to study the air's contamination by lead's emissions from road transport in the city of Khemis following meteorological parameters.

For this purpose, a measurement network consisting of three gauges was set up around the fourth national street road for March to April and the resulting benefits in the form of a dry and wet deposit are weighed and analyzed by atomic absorption spectroscopy SAA to deduce the highest level of lead's road pollution at paramedical school with concentration high than normes.

Keywords: atmosphere, pollution, lead, road traffic

Liste des abréviations

ATSDR :	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BTEX :	Benzène-Toluène-Ethylbenzène-Xylènes (Ortho, Méta et Para)
°C :	Degrés Celsius
CEE :	Communauté Economique Européenne
DGS :	Direction Générale de la Santé
g :	Gramme
GES :	Gaz à Effet de Serre
GPL :	Gaz Pétrole Liquéfié
h :	Heure
HAP :	Hydrocarbure aromatique polycyclique
H₂O :	Eau
HCl :	Acide chlorhydrique
HC :	Hydrocarbures
HNO₃ :	Acide nitrique imbrulés
HVS :	Hight Volume Sample
hν :	Energie d'un photon
Kg :	Kilogramme
Km :	Kilomètre
l :	Litre
m :	Mètre
m² :	Mètre carré
m³ :	Mètre cube
mg :	Milligramme
ml :	Millilitre
mm :	Millimètre
mn :	Minute
mmHg :	Millimètre de mercure
N° :	Numéro
NaCl :	Chlorure de sodium
nm :	Nanomètre
NMHC :	Non-méthane hydrocarbone
NO₂ :	Dioxyde d'azote

NO :	Monoxyde d'azote
O₃ :	Ozone
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
ONS :	Office National des Statistiques
PAN :	Peroxyacétyle de méthyle
Pd :	Palladium
pH :	Potentiel hydrogène
PPB :	Part Per Billion (Partie par milliard)
PPM :	Part Per million (Partie par million)
Pt :	Platine
PXRF :	Portable X-Ray Fluorescence
QI :	Quotient intellectuel
HR :	Humidité relative
Rh :	Rhodium
s :	seconde
SNV :	Science de la nature et de la vie
T° :	Température
U.S EPA :	United States Environmental Protection Agency
UV :	Ultraviolet
WHO :	World Health Organization
Zn :	Zinc
µg :	Microgramme
% :	Pourcent

Liste des figures

Figure 1.1 : Schéma structurel de l'atmosphère terrestre	- 4 -
Figure 1.2: Mécanisme de la pollution	- 7 -
Figure 1.3 Principales sources de pollutions routières	- 15 -
Figure 2.1 : Effets du plomb inorganique sur les enfants et les adultes. Taux minimum où l'effet peut être observé	- 31 -
Figure 2.2 : Symptômes du saturnisme	- 33 -
Figure 3.1 : Système à grand volume (à gauche) et à petit volume (à droite)	- 37 -
Figure 3.2 : Précipitateur électrostatique	- 37 -
Figure 3.3 : Schéma descriptif de la jauge de précipitation (modèle belge).....	- 38 -
Figure 3.4 : Schéma descriptif de la jauge à flux horizontal	- 39 -
Figure 3.5 : Schéma descriptif de la jauge à flux vertical.....	- 39 -
Figure 3.6 : Instruments de base de la SAA	- 41 -
Figure 3.7 : Photo de la coupe d'un MEB et schéma de fonctionnement associé	- 46 -
Figure 4. 1 : Consommation de carburant en fonction des prélèvements (en litre).....	- 49 -
Figure 4. 2 : Prélèvement et conservation des échantillons	- 51 -
Figure 4. 3 : Dispositif de la filtration sous vide.....	- 53 -
Figure 5. 1 : Rose des Vents	- 59 -
Figure 5. 2 : Direction des vents dominants durant la période d'étude	- 60 -
Figure 5. 3 : Evolution de la force des vents durant la période d'étude.....	- 60 -
Figure 5. 4 : Variations de la température et de l'humidité	- 61 -
Figure 5. 5 : Evolution des précipitations	- 62 -
Figure 5. 6: Dépôt insoluble.....	- 62 -
Figure 5. 7: Dépôt humide (flacon : partie soluble, creusé : partie insoluble).....	- 63 -
Figure5. 8: Conductivité du dépôt humide	- 63 -
Figure5. 9: pH du dépôt humide	- 64 -
Figure5. 10: Masse de la fraction soluble et insoluble du dépôt humide.....	- 65 -
Figure 5. 11: Conductivités de la Faculté des langues.....	- 66 -
Figure 5. 12 : Conductivités à la Résidence Universitaire.....	- 67 -
Figure 5. 13 : Conductivités à l'école paramédicale.....	- 67 -
Figure 5. 14: pH des échantillons à la faculté des langues	- 68 -
Figure5. 15 : pH des échantillons à la Résidence Universitaire.....	- 68 -

Figure5. 16 : pH des échantillons à l'école paramédicale.....	- 69 -
Figure5. 17 : Masse des dépôts solubles et insolubles à la Faculté des Langues	- 70 -
Figure5. 18 : Masse des dépôts solubles et insolubles à la Résidence universitaire.....	- 70 -
Figure5. 19 : Masse des dépôts solubles et insolubles de l'Ecole Paramédicale	- 71 -
Figure5. 20 : Masse des dépôts secs et humides de la Faculté des Langues.....	- 72 -
Figure5. 21 : Masse des dépôts secs et humides de la Résidence universitaire.....	- 72 -
Figure5. 22 : Masse des dépôts secs et humides à l'Ecole Paramédicale	- 73 -
Figure5. 23 : Courbe d'étalonnage	- 75 -
Figure5. 24 : Concentration du plomb dans différents points de prélèvements.....	- 78 -

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Schéma structurel de l'atmosphère terrestre	- 4 -
Tableau 1.2 : Comparaison des compositions de l'atmosphère naturelle et polluée	- 5 -
Tableau 2.1 : Propriétés physico-chimiques du plomb et ses dérivés	- 21 -
Tableau 3.1 : Méthodes d'introduction de l'échantillon en spectroscopie atomique	- 42 -
Tableau 3.2 : Longueurs d'onde des raies usuelles des principaux éléments	- 45 -
Tableau 4.1 : Dates de prélèvements et expositions des échantillons.....	- 50 -
Tableau 4.2 : Dates de prélèvements et expositions des échantillons.....	- 57 -
Tableau 5.1 : Taux de lessivage	- 66 -
Tableau 5.2 : Masse des dépôts.....	- 74 -
Tableau 5.3 : Résultats SAA et Concentration du plomb du dépôt humide	- 75 -
Tableau 5.4 : Résultats SAA et Concentration du plomb dans la partie insoluble (point 1) ...	- 76 -
Tableau 5.5 : Résultats SAA et Concentration du plomb dans la partie insoluble (point 2) ...	- 76 -
Tableau 5.6 : Résultats SAA et Concentration du plomb dans la partie insoluble (point 3) ...	- 77 -

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction.....	1
Chapitre 1 : pollution atmosphérique d'origine routière.....	- 3 -
1.1. Généralités sur la pollution atmosphérique :.....	- 3 -
1.1.1. Atmosphère :.....	- 3 -
1.1.2. Pollution atmosphérique :.....	- 5 -
1.1.3. Mécanismes de la Pollution atmosphérique :.....	- 6 -
1.1.4. Niveaux de Pollution :.....	- 8 -
1.1.4.1. Niveau local :.....	- 8 -
1.1.4.2. Niveau régional :.....	- 8 -
1.1.4.3. Niveau planétaire :.....	- 9 -
1.1.5. Facteurs météorologiques influençant la dispersion des polluants :.....	- 9 -
1.1.5.1. Vent :.....	- 9 -
1.1.5.2. Température et rayonnement :.....	- 9 -
1.1.5.3. Humidité :.....	- 9 -
1.2. Pollution d'origine routière :.....	- 10 -
1.2.1. Généralités :.....	- 10 -
1.2.2. Parc automobile Algérien :.....	- 10 -
1.2.3. Emissions de polluants :.....	- 11 -
1.2.4. Polluants émis par le transport routier :.....	- 13 -
1.2.5. Facteurs influençant les émissions véhiculaires :.....	- 15 -
1.2.5.1. Facteurs liés aux véhicules :.....	- 15 -
1.2.5.2. Facteurs liés aux conditions de circulation :.....	- 16 -
1.2.5.3. Facteurs liés aux conditions thermiques :.....	- 17 -
1.2.5.4. Facteurs liés à la route :.....	- 17 -
1.2.5.5. Facteurs liés aux conducteurs :.....	- 17 -
1.3. Réglementation et conventions vis-à-vis de la pollution atmosphérique d'origine routière :.....	- 17 -

1.3.1.	Dans le monde :	- 17 -
1.3.2.	Cadre réglementaire et législatif en Algérie :	- 18 -
1.3.2.1.	Etat des lieux :	- 18 -
Chapitre 2 : Plomb		- 20 -
2.1.	Généralités :	- 20 -
2.2.	Usage du plomb :	- 22 -
2.3.	Sources d'exposition du plomb :	- 23 -
2.3.1.	Atmosphère :	- 23 -
2.3.2.	Alimentation et Eau :	- 24 -
2.3.3.	Poussières et Sols :	- 25 -
2.3.4.	Autres sources d'exposition :	- 25 -
2.4.	Contamination de l'atmosphère :	- 26 -
2.5.	Effets du Plomb :	- 26 -
2.5.1.	Effets sur les animaux et la végétation (Eco-toxicologie) :	- 26 -
2.5.2.	Effets sur l'homme :	- 27 -
2.5.2.1	Effets hématologiques :	- 27 -
2.5.2.2.	Effets sur le système nerveux :	- 28 -
2.5.2.3.	Effets rénaux :	- 28 -
2.5.2.4.	Effets sur les os :	- 28 -
2.5.2.5.	Effets sur la reproduction :	- 29 -
2.5.2.6.	Autres effets :	- 29 -
2.5.3.	Notion de Plombémie :	- 29 -
2.5.4.	Doses et Seuils tolérables :	- 31 -
Chapitre 3 : Réseaux de surveillance et Méthodes d'analyses		- 34 -
3.1.	Méthodes de réseaux :	- 34 -
3.1.1.	Objectifs :	- 34 -
3.1.2.	Polluants mesurés :	- 35 -
3.2.	Différents types de collecteurs :	- 36 -
3.2.1.	Appareils de filtration :	- 36 -
3.2.2.	Précipitateur électrostatique :	- 37 -
3.2.3.	Jauges de précipitation :	- 38 -
3.3.	Méthodes utilisées pour l'analyse du plomb :	- 40 -
3.3.1.	Spectrométrie d'absorption atomique :	- 40 -
3.3.1.1.	Principe :	- 40 -

3.3.1.2. Appareillage :	- 40 -
3.3.1.3. Introduction des échantillons en solution :	- 41 -
3.3.1.4. Chambre d'absorption :	- 42 -
3.3.1.4.1. Flamme (atomiseur) :	- 42 -
3.3.1.4.2. Atomiseur électrothermique (four graphite) :	- 43 -
3.3.1.5. Monochromateurs :	- 44 -
3.3.1.6. Détecteur :	- 44 -
3.3.1.7. Perturbations :	- 44 -
3.3.1.8. Applications :	- 44 -
3.3.2. Microscope Electronique à Balayage (MEB) :	- 45 -
3.3.2.1. Principe :	- 45 -
Chapitre 4 : Méthodes expérimentales	- 47 -
4.1. Réseau de mesure :	- 47 -
4.2. Parc automobile de Khemis Miliana :	- 47 -
4.3. Méthode de prélèvements du plomb :	- 49 -
4.3.1. Type de jauges utilisées : Modèle Belge	- 50 -
4.3.1.1. Préparation des jauges :	- 50 -
4.3.1.2. Disposition des jauges :	- 50 -
4.3.2. Durée d'exposition :	- 50 -
4.3.3. Prélèvement et échantillonnage:	- 51 -
4.4. Paramètres météorologiques :	- 51 -
4.5. Analyses préliminaires :	- 52 -
4.6. Filtration des échantillons :	- 52 -
4.7. Evolution de la masse des dépôts :	- 53 -
4.8. Digestion acide :	- 55 -
4.8.1. Instrumentation et matériel :	- 55 -
4.8.2. Réactifs et volumes d'échantillons utilisés :	- 55 -
4.8.3. Protocole de digestion :	- 55 -
4.8.4. Préparation du blanc :	- 56 -
4.8.5. Stockage d'échantillon minéralisé et le blanc :	- 56 -
4.8.6. Solutions étalons :	- 56 -
4.8.7. Protocole d'analyse SAA :	- 56 -
Chapitre 5 : Résultats et Interprétations	- 58 -
5.1. Paramètres météorologiques :	- 58 -

5.1.1. Vents :	- 58 -
5.1.2. Humidité et la température :	- 61 -
5.1.3. Précipitation :	- 61 -
5.2. Evolution de la masse des dépôts :	- 62 -
5.2.1 Dépôt humide :	- 63 -
5.2.1.1. Conductivité :	- 63 -
5.2.1.2. Potentiel hydrogène :	- 64 -
5.2.1.3. Masse du dépôt humide (soluble et insoluble) :	- 65 -
5.2.2. Dépôt total :	- 66 -
5.2.2.1. Conductivité :	- 66 -
5.2.2.2. Potentiel Hydrogène :	- 68 -
5.2.2.3. Masse dépôt total (soluble et insoluble) :	- 70 -
5.2.2.4. Masse dépôt total (Sec et Humide) :	- 72 -
5.4. Analyse SAA :	- 75 -
5.4.1. Dépôt humide :	- 75 -
5.4.2. Dépôt Total :	- 76 -
Conclusion et Perspectives :	80
Perspectives :	82
Références bibliographiques :	83
Annexes.....	87

Introduction

L'un des problèmes environnementaux le plus important aujourd'hui dans les zones urbaines est la pollution de l'air. Ce n'est pas un phénomène récent, même si la médiatisation en fait la promotion ces dernières années et se limitait jusqu'ici qu'aux problèmes d'effet de serre et du trou d'ozone, mais attisant ainsi un affolement général de tout citoyen.

Le transport routier peut être la source de différentes nuisances et pollutions. La construction, l'utilisation et l'entretien des infrastructures routières engendrent des perturbations susceptibles de porter atteinte aux ressources naturelles, aux systèmes écologiques et à l'homme. Ils sont à l'origine à la fois d'une pollution de l'atmosphère, des eaux et des sols. Suivant une étude réalisée par le cabinet CORAM sur un périmètre de 173 pays représentant 99.5% de la population et 99,9% de l'économie mondiale, le parc automobile mondial s'établit à 1180 millions de véhicules au 31 Décembre 2013. L'augmentation des déplacements est telle que les émissions polluantes s'accroissent, malgré les progrès techniques réalisés sur les véhicules et les carburants pour les limiter (CORAM, 2014).

Dans les pays développés la généralisation de l'utilisation de carburants non plombés a entraîné une nette réduction de la pollution plombifère.

En 2002, sur les quarante-neuf pays d'Afrique subsaharienne, seul le Soudan s'était pleinement converti à l'essence sans plomb. En début 2006, le Partenariat pour des carburants et des véhicules propres (PCFV) a lancé un programme d'élimination progressive du plomb dans les essences non seulement du reste du monde en voie de développement, mais aussi des économies en transition, dans le but d'une élimination globale de l'essence au plomb à l'échelle mondiale. A ce jour, plus d'une trentaine de pays à travers le monde utilisent toujours l'essence au plomb (Programme des Nations Unies pour l'Environnement, 2005) et parmi ces pays figure l'Algérie.

En Algérie, la capitale a été classée numéro un dans le rapport de la banque mondiale, de par les 180 tonnes de plomb qui planent en permanence dans l'atmosphère (Maizi, 2013).

Le présent mémoire vise à étudier la pollution de proximité induite par la circulation routière en milieu urbain. Il s'agit ici de mieux comprendre les relations qui associent transport routier et pollution atmosphérique due au plomb dans la ville de Khemis-Miliana. De ce fait, avec l'augmentation croissante du trafic routier, les émissions sont de plus en plus importantes, surtout dans les villes où le trafic routier est le plus intense. Ces polluants impactent la qualité de l'air urbain et ont des conséquences parfois significatives sur la santé. Ceci invitant la volonté des pouvoirs publics à maintenir un air plus sain à proximité des axes de forte circulation. C'est pourquoi l'analyse du plomb est appréhendée dans cette étude.

A cet égard, Plusieurs questionnements paraissent importants en vue de comprendre le rôle du trafic sur les concentrations en Pb :

- Dans quelles conditions le trafic impacte-t-il la qualité de l'air en milieu urbain ?
- Quels sont les processus et mécanismes de la pollution induite par le trafic ?

Ces premières questions permettront d'ouvrir les enjeux de l'analyse sur la pollution automobile.

- Quelles sont les variables qui jouent un rôle et prédominent sur la variation de Pb présent dans l'air ?

Le premier chapitre du mémoire sera consacré à la mise en place d'un contexte bibliographique par la définition de notre domaine d'étude et d'analyse, en s'intéressant, tout d'abord, aux mécanismes de la pollution atmosphérique, aux paramètres météorologiques et à la contribution du transport routier à cette pollution.

Le deuxième chapitre est totalement consacré aux notions sur le plomb.

Le troisième chapitre de ce travail sera consacré aux réseaux de surveillances et à quelques méthodes d'analyses du plomb.

Quant au quatrième chapitre, il sera consacré à la définition du terrain d'étude, au parc automobile de Khemis Miliana, aux méthodes d'échantillonnage et de prélèvements du Pb et aux analyses préliminaires.

Le dernier chapitre de ce mémoire sera consacré à la présentation et discussion des résultats.

Ce mémoire est parachevé par une conclusion générale et des perspectives afin de valoriser les résultats et les objectifs atteints par ce travail.

Chapitre 1 : pollution atmosphérique d'origine routière

La pollution atmosphérique est un problème majeur de ce siècle. Son impact sanitaire et environnemental, bien que difficilement évaluable, préoccupe de plus en plus de personnes et les réglementations sont régulièrement réévaluées pour tenter de limiter les émissions de polluants.

C'est pour cette raison que dans ce premier chapitre, nous proposons de familiariser le lecteur et lui présenter une vue succincte et générale sur la composition de l'atmosphère, les polluants les plus courants et les divers aspects liés à cette problématique. Ensuite, de mettre en évidence ses mécanismes et ses manifestations spatiales. Enfin, nous effectuons un état de l'art dans le domaine des émissions du transport routier, ainsi que la réglementation régissant ce genre de problème.

1.1. Généralités sur la pollution atmosphérique :

1.1.1. Atmosphère :

L'atmosphère terrestre est la couche gazeuse entourant la terre. Elle a un rôle protecteur très important, permettant la vie sur la planète. Elle protège la terre de certains rayonnements cosmiques et solaires. Elle peut être décrite comme une superposition de quatre régions, du niveau le plus élevé en altitude au niveau le plus bas: la thermosphère, la mésosphère, la stratosphère et la troposphère (Fig. 1.1). Les couches de transition sont des zones de transition où les gradients de température verticale changent de signe (*Elichegary et al, 2010*).

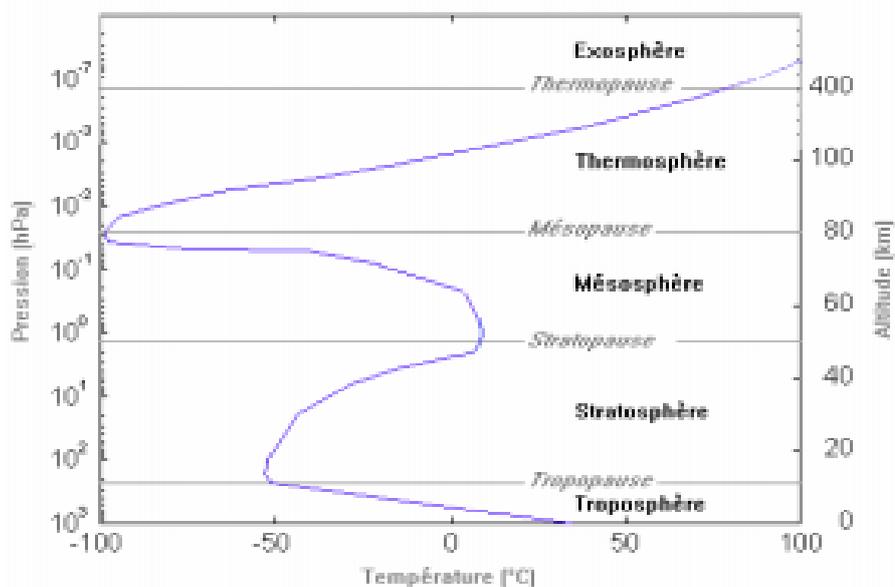


Figure 1.1 : Schéma structurel de l'atmosphère terrestre (Vendell, 2011)

Le terme «air pur» est fréquemment utilisé pour décrire un air «naturel» exempt de tout polluant, qui ne serait constitué exclusivement que d'azote (N₂) et d'oxygène (O₂). L'air pur n'existe pas et il n'a jamais existé naturellement car la composition réelle de l'atmosphère résulte de processus à la fois physiques à savoir la combustion, l'évaporation, la condensation et le dégazage des roches, biologiques telle que la fermentation et chimiques complexes qui existent depuis la formation de la terre (François, 2004).

Tableau 1.1 : Schéma structurel de l'atmosphère terrestre (Vendell, 2011)

Gaz	Symbole chimique	Pourcentage dans l'air (%)
Azote	N ₂	78.09
Oxygène	O ₂	20.94
Argon	Ar	0.93
Dioxyde de carbone	CO ₂	0.033
Néon	Ne	18.18 .10 ⁻⁴
Hélium	He	5.239 .10 ⁻⁴
Krypton	Kr	1.139 .10 ⁻⁴
Hydrogène	H ₂	0.5 .10 ⁻⁴
Xénon	Xe	0.086 .10 ⁻⁴
Radon	Rn	6 .10 ⁻¹⁸

1.1.2. Pollution atmosphérique :

En Algérie, les pouvoirs publics ont défini la pollution atmosphérique, à travers l'article 44 de la Loi N° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, comme suit : « Constitue une pollution atmosphérique au sens de la présente loi, l'introduction, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances de nature à mettre en danger la santé humaine, influencer sur les changements climatiques ou appauvrir la couche d'ozone, nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, compromettre la sécurité publique, incommoder la population, provoquer des nuisances olfactives, nuire à la production agricole et aux produits agro-alimentaires, altérer les constructions et porter atteinte au caractère des sites, détériorer les biens matériels ».

Les niveaux de polluants dans l'air dépendent de leur nature et des conditions de rejet de ceux-ci dans l'atmosphère en occurrence de l'intensité de la source et de la météorologie. Ses sources peuvent être soit naturelles tels que feu de forêt et éruption volcanique, soit anthropiques, c'est-à-dire liées à l'activité humaine.

Comme l'illustre le Tableau (1.2) la composition de l'atmosphère polluée exprimée en partie par milliard (ppb) peut être très variable et différente de celle considérée comme étant naturelle (Aouragh, 2015).

Tableau 1. 2 : Comparaison des compositions de l'atmosphère naturelle et polluée (Aouragh, 2015)

Polluants	Atmosphère naturelle (ppb)	Atmosphère polluée (ppb)
Dioxyde de soufre	1-10	20-200
Monoxyde de carbone	120	1000-10000
Monoxyde d'azote	0.01-0.05	50-750
Dioxyde d'azote	0.1-0.5	50-250
Ozone	20-80	100-500
Acide nitrique	0.02-0.3	3-50
Ammoniac	1	10-25
Formaldehyde	0.4	20-50
Acide formique	/	1-10
Acide nitreux	0.001	1-8
PAN	/	5-35
NMHC	/	500-1200

1.1.3. Mécanismes de la Pollution atmosphérique :

La pollution atmosphérique est un phénomène complexe qui tient compte de multiples sources de pollution se manifestant à des échelles multiples (*Sportisse, 2008*). Il apparaît relativement compliqué de faire des choix pour étudier un phénomène de pollution atmosphérique.

Les phénomènes de pollution atmosphérique se manifestent principalement dans la plus basse couche de l'atmosphère : la troposphère et plus particulièrement au sein de sa couche limite. Elle peut aussi se manifester, moins fréquemment, dans la stratosphère dans le cas de polluants ayant une durée de vie plus longue (*Sportisse, 2008*).

Les niveaux de polluants dans l'air dépendent de leur nature (polluants primaires ou secondaires) et des conditions de rejet de ceux-ci dans l'atmosphère (intensité de la source, météorologie,...) (*Emery, 2012*).

La pollution atmosphérique se manifeste, tout d'abord, en fonction des *émissions* de polluants primaires dans l'air. L'intensité de ces sources va conditionner la présence plus ou moins prononcée de ceux-ci dans l'atmosphère. Les polluants primaires sont directement reliés à leurs sources qui peuvent être soit diffuses (circulation automobile), ou ponctuelles (installations industrielles, chauffage résidentiel). Ces émissions ont un impact direct sur la qualité de l'air à proximité des sources d'émissions.

Une fois les polluants libérés dans l'atmosphère, des processus mécaniques et chimiques vont régir le *transport ou la diffusion* des polluants (vents, turbulences, gradients thermiques). Ceux-ci sont principalement de deux origines : dynamique due aux vents, au relief et aux obstacles naturels ou anthropiques; ou thermique due à la variation de la température de l'air (gradients thermiques et de pression). A cette étape, les polluants vont progressivement s'éloigner de la source d'émission. Néanmoins, cette capacité des polluants à se déplacer sur de plus ou moins longues distances tient compte du temps de résidence des polluants. Plus la durée de vie d'un polluant est longue, plus il pourra se déplacer sur de longues distances, à l'inverse plus sa durée de vie est courte plus il sera proche de sa source d'émission (*Sportisse, 2008*).

La transformation des polluants n'intervient pas systématiquement. Les polluants primaires libérés dans l'atmosphère peuvent subir une série de transformations chimiques conduisant à la formation de polluants secondaires. On va parler de transformations des polluants primaires. Elle se forme en présence d'autres polluants et sous l'action du rayonnement solaire, de la chaleur, ou de l'humidité. Il se forme de la matière organique particulaire secondaire par

oxydation des hydrocarbures. Ces dégradations s'accompagnent le plus souvent de production d'ozone (Masclat, 2005).



Les deux dernières phases, en combinaison des émissions et du transport des polluants, vont être plus caractéristiques de la pollution de fond urbaine et régionale. La phase de **dépollution** intervient en dernier lieu et correspond au dépôt des polluants sous deux formes : sèche ou humide (Elichegaray, 2010).

- **Dépôts secs** : correspondent aux retombées au sol des polluants gazeux ou particulaires sous l'effet de la diffusion, des turbulences atmosphériques ou de la gravité. Le temps de séjour des polluants dans l'air est très variable et dépend de leurs caractéristiques physico-chimiques. Par exemple, les particules de taille inférieure au micromètre, donc très légères, peuvent rester plusieurs semaines dans l'atmosphère.

- **Dépôts humides** : englobent, quant à eux, les retombées de polluants se faisant sous l'action des précipitations (pluies, neige, brouillard,...). Lors de la tombée des précipitations, celles-ci vont lessiver l'atmosphère en interceptant et entraînant les particules au sol. On estime qu'environ un tiers des polluants présents dans l'atmosphère retourne au sol sous cette forme. (Sportisse, 2008)

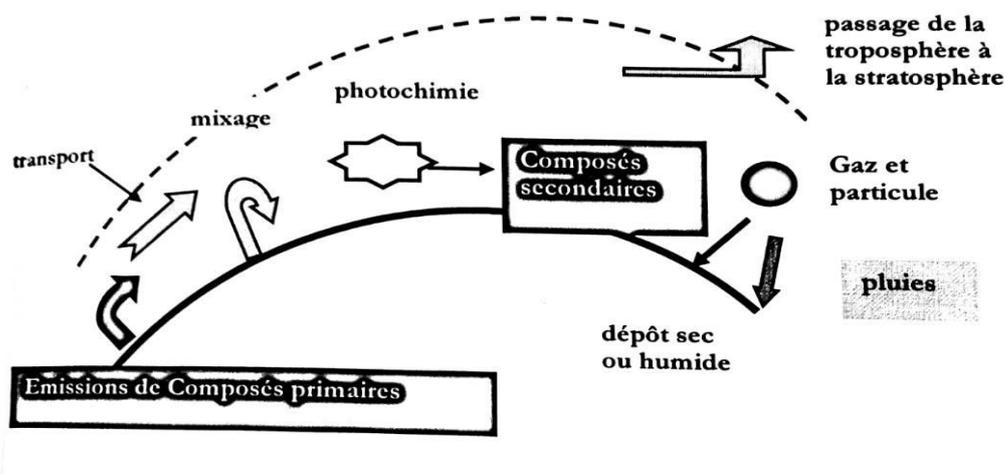


Figure 1. 2: Mécanisme de la pollution (Legret et al, 1997)

Nous pouvons voir que les processus de pollution atmosphérique tiennent compte des caractéristiques des polluants émis. Leur présence dans l'atmosphère est donc conditionnée par l'action de processus extérieurs modifiant sensiblement la qualité de l'air (*Elichegaray, 2010*). En effet, la pollution de proximité et la pollution de fond ne tiennent pas compte des mêmes polluants. La pollution de proximité se caractérise par les émissions et le transport de polluants primaires dans l'air, alors que la pollution de fond est plus caractéristique de la présence de polluants primaires et secondaires dans l'air touchant un espace plus vaste. Dans ces conditions, l'étude des polluants primaires apparaît plus adaptée afin de caractériser la pollution de proximité induite par le trafic.

1.1.4. Niveaux de Pollution :

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

1.1.4.1. Niveau local :

La pollution urbaine agit sur quelques kilomètres. Son impact sur la santé dépend de la durée d'exposition, de l'état général et de l'âge des personnes concernées. La pollution atmosphérique urbaine est généralement caractérisée par des niveaux d'exposition à la fois relativement faibles, permanents, diffus et relevant de polluants très divers. L'étude de l'impact sanitaire de cette pollution est ainsi confrontée à l'évaluation de risques individuels faibles mais portant sur de larges populations. Un risque faible peut dans ces conditions avoir d'importantes conséquences en termes de santé publique (*Germain, 2006*).

1.1.4.2. Niveau régional :

L'échelle régionale dite « méso échelle » pour la connaissance de la pollution sur une zone de 100 à 1000 km et pour décrire la pollution transfrontière (*Masclat, 2005*).

La pollution photochimique avec la formation d'ozone à partir de polluants primaires, sous l'effet du rayonnement solaire et la pollution acide (liée au dioxyde de soufre, et aux oxydes d'azote...) est à l'origine des pluies acides qui entraînent le dépérissement des forêts et la dégradation des sols. La pollution régionale peut être constatée jusqu'à plus de mille kilomètres autour de sa source (*Germain, 2006*).

1.1.4.3. Niveau planétaire :

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

1.1.5. Facteurs météorologiques influençant la dispersion des polluants :

1.1.5.1. Vent :

Le vent est un mouvement d'air visant à rétablir l'équilibre entre les zones de haute pression (les anticyclones) et les zones de basse pression (les dépressions).c'est un facteur essentiel expliquant la dispersion polluantes. Le vent intervient tant par sa direction pour orienter les émissions dans une direction que par sa vitesse pour les diluer. La dispersion des polluants augmente la vitesse et la turbulence du vent.

En revanche, lorsque les vents sont faibles, le poids de l'influence du relief local est fort et des brises apparaissent au gré des contrastes thermiques. (*Deletraz, 2002*)

1.1.5.2. Température et rayonnement :

Ces deux paramètres, fortement corrélés, agissent sur la chimie des polluants ; le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que le rayonnement estival est favorable aux réactions photochimiques (*Deletraz, 2002*).

1.1.5.3. Humidité :

Un des principaux rôles de l'humidité est le « captage » des particules polluantes par les gouttelettes d'eau en suspension. En retenant les polluants, elles accroissent leur stagnation et peuvent finir par concentrer ces substances, ce qui n'est pas sans conséquences en montagne, où pluies et brouillards sont plus fréquents (*Deletraz, 2002*).

1.2. Pollution d'origine routière :

1.2.1. Généralités :

Les émissions atmosphériques dues au transport routier ont augmenté partout dans le monde au cours des dernières décennies plus rapidement que d'autres sources de pollution. Notons, qu'ils contribuent à plus de 25% des émissions totales de CO, CO₂ et NO_x et les émissions de particules fines dans la plupart des pays européens. Cette situation met l'accent sur l'importance du transport routier lors de l'application des différentes normes d'émissions relatives à la qualité de l'air (*Aouragh, 2015*).

Tous les véhicules n'émettent pas les mêmes quantités et les mêmes proportions des différents polluants (*Deletraz, 2002*).

Le trafic automobile contribue à la pollution atmosphérique à la fois par l'émission directe de polluants liée à l'utilisation des véhicules (polluants primaires) et par les polluants dérivés ou secondaires formés après réactions chimiques dans l'atmosphère à partir d'espèces chimiques (dites précurseurs) émises par les véhicules (ozone et la fraction secondaire des particules fines). Les polluants se classent en deux grandes catégories : les particules (émises à l'échappement ou issues de l'usure des véhicules, de la chaussée et de la resuspension.), et les polluants gazeux (échappement et évaporation des carburants). Certains polluants de l'échappement peuvent être semi-volatils et être par conséquent présents en tant que particules et gaz (*Fallah, 2014*).

Cependant, la pollution induite par l'automobile présente un réel risque urbain non pas comme étant la combinaison d'un aléa et d'une vulnérabilité, mais en se définissant comme étant "le croisement entre une exposition et une vulnérabilité" (*Aouragh, 2015*).

1.2.2. Parc automobile Algérien :

Le parc automobile national comptait au 31 Décembre 2012 : 4 812 555 de véhicules (ONS, 2012). Ce dernier est d'une part en augmentation de plus de 6 % par rapport à 2011 et de près de 30 % par rapport à 2006 d'autre part, pour une population d'environ 37 millions d'habitants. Jusqu'à lors, le rythme de croissance annuel du parc automobile continue d'augmenter. En réalité, le parc automobile Algérien devrait être comparé à des pays de même

niveau de développement. Le Maroc, par exemple, ne compte que 1,5 million de véhicules pour une population de 33 millions d'habitants, comparable à ce pays. Cette impressionnante expansion du parc Algérien s'explique bien sûr par l'amélioration spectaculaire des ressources financières du pays apportée par la hausse des cours de pétrole dans les années 2000, la réception du réseau autoroutier Est-Ouest et le développement de la rocade des hauts plateaux, ainsi que l'autorisation de l'installation des concessionnaires automobiles dans le pays (*Aouragh, 2015*).

1.2.3. Emissions de polluants :

Les émissions de polluants liés à la circulation automobile peuvent être catégorisées en quatre types selon les différents phénomènes qui génèrent ces émissions :

- Emissions à l'échappement :

Ces émissions sont liées au fonctionnement d'un moteur à explosion et aux phénomènes chimiques qui en découlent. Les émissions de certains polluants au cours de la période de chauffe (moteur froid) sont beaucoup plus élevées que pendant le fonctionnement à chaud du moteur ; il est donc nécessaire de distinguer ces deux types de production de polluants. Lorsque le moteur n'est pas suffisamment chaud (température inférieure à 80°C environ), il ne fonctionne pas à son rendement optimal, ce qui affecte les émissions liées au processus de combustion. Les émissions à chaud et à froid sont principalement liées aux technologies, motorisations, carburants, huiles, dispositifs de dépollution, et surtout aux modes d'utilisation du véhicule (vitesse et charge par exemple). Alors que les surémissions à froid peuvent être négligeables sur de longs trajets routiers ou autoroutiers, elles peuvent être majoritaires sur de courts trajets urbains (*Fallah, 2014*) ;

Tableau 1.3 : Composition volumique des gaz d'échappement (*Pagotto, 1999*).

Constituants	Moteur d'essence	Moteur diesel
Oxygène (%)	1-17	1-20
Azote (%)	75-80	75-80
Hydrogène (%)	0-6	0-2.5
Eau (%)	12-14	12-14
Dioxyde de carbone (%)	0.7-15	1-14
Monoxyde de carbone(%)	0.2-10	0-1
Hydrocarbures (ppm)	100-1000	0-500
Aldehydes (ppm)	40-300	0-30
Oxyde d'azote (ppm)	100-2000	100-1500
Plomb (% du plomb de l'essence)	70-80	Faible
Anhydride sulfureux (ppm)	0.80	100-200
Particules	0.2-0.3 mg.g ⁻¹ d'essence	150-450 m

- **Emissions par évaporation de carburant** : ce sont les émissions par évaporation dues aux systèmes de carburant des véhicules à essence (réservoir, système d'injection et conduites de carburant). Les émissions par évaporation provenant des véhicules diesel sont négligeables en raison de la présence d'hydrocarbures plus lourds et, par conséquent, d'une pression de vapeur du carburant diesel qui est relativement faible. Le processus d'évaporation est dû à la variation de température, soit par changement de température dans la journée, soit par évolution de celle du moteur des véhicules pendant la conduite et le stationnement. Une autre source importante est la perméation du carburant : diverses études montrent la fuite de carburant au travers de composants plastiques. Les évaporations sont de trois types : les évaporations au cours des déplacements, les évaporations lors du refroidissement du véhicule et les évaporations journalières dues aux variations de température ambiante (*Fallah, 2014*).

Les carburants d'usage courant (essence, gazole et carburant gazeux) sont des mélanges plus ou moins complexes d'hydrocarbures variés. La réaction théorique d'un hydrocarbure avec l'oxygène correspond à l'équation chimique suivante :



La combustion complète et idéale donne comme produit de combustion de gaz carbonique et de la vapeur d'eau. Les conditions de la combustion ne sont jamais optimales (d'où une combustion incomplète) (*Pagotto, 1999*) ;

- **Emissions « non-échappement »** : Les émissions « non-échappement » incluent des particules (PM), y compris des métaux lourds émis par l'usure des pneus, des plaquettes de freins et de l'embrayage des véhicules ainsi que des gaz émis suite à des fuites de gaz frigorigènes, carburant, huile, liquide de frein, etc. On inclut aussi dans ces émissions, l'usure de la chaussée par les véhicules. Ces émissions dépendent de la vitesse moyenne et du kilométrage parcouru par le véhicule. La gomme de pneumatique contient principalement du plomb d'origine inconnue et du zinc provenant du blanc de zinc (*Pagotto, 1999*) ;

- **Emissions par remise en suspension de particules** : La ré-suspension est la remise en état de suspension dans l'atmosphère de particules préalablement déposées sur le sol. Cette ré-suspension peuvent représenter une bonne part des émissions de particules du trafic routier, jusqu'à environ 50%.

1.2.4. Polluants émis par le transport routier :

Les polluants émis par les véhicules roulants sont principalement :

- **Dioxyde de carbone (CO₂, aussi appelé gaz carbonique)** : qui est émis par la combustion de carburants fossiles (émission échappement) (*Fallah, 2014*) ;

- **Monoxyde de carbone(CO)** : qui résulte d'une combustion incomplète (émission échappement). Il s'oxyde lentement en dioxyde de carbone dans l'atmosphère avec une durée de vie de l'ordre d'un mois (*Aubertin, 1996*) ;

- **Les oxydes d'azote (NO_x)** : qui se forment à des températures de combustion élevées par recombinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air. L'origine de ces polluants était à 75 % due au trafic routier en 2005 (*Fallah, 2014*) ;

- **Ozone(O₃)** : qui est un polluant secondaire issu de la réaction des oxydes d'azote et des composés organiques volatils (COV) sous l'effet du soleil (photochimie). La formation de l'ozone est un mécanisme complexe faisant intervenir de nombreux aspects chimiques et climatiques (*Fallah, 2014*) ;

- **Composés soufrés** : ils proviennent de l'oxydation du soufre présent dans le carburant et sont émis principalement par les moteurs diesel, sous forme de dioxyde de soufre (SO₂) gazeux (*Pagotto, 1999*) ;

- **Protoxyde d'azote(N₂O)**: Une petite partie des émissions de protoxyde d'azote est attribuée au trafic routier, en particulier aux pots catalytiques. C'est un des plus importants gaz à effet de serre contribuant au réchauffement de la planète après la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄) (*Aubertin, 1996*) ;

- **Particules (PM)** : proviennent de l'échappement (principalement des véhicules diesel sans filtre à particules), des émissions non-échappement et du phénomène de resuspension (*Aubertin, 1996*). Elles sont constituées de carbone, d'hydrocarbures adsorbés (liquide ou solide) de tout type dont les HAP, de composés soufrés et de composés minéraux variés (*Pagotto, 1999*) ;

- **Composés Organiques Volatils (COV)** : comprenant des hydrocarbures (alcane, alcènes, aromatiques monocycliques et notamment benzène et toluène...) et des composés oxygénés (aldéhydes, acides, cétones, éthers, ...). L'évaporation du carburant lors du remplissage du réservoir et au niveau de l'alimentation des véhicules est également une source d'émission, notamment pour l'essence, plus volatile que le gazole (*Aubertin, 1996*) ;

- **Composés métalliques** : notamment plombés, qui résultent de la combustion des additifs contenus dans le carburant. Ils sont principalement émis sous forme de composés inorganiques particuliers : il peut s'agir dans le cas du plomb, de composés halogènes relativement solubles, d'oxyde moins solubles ou de sulfates et carbonates peu solubles (*Pagotto, 1999*) ;

Les métaux **fer (Fe), cuivre (Cu), antimoine (Sb), chrome (Cr), nickel (Ni), sélénium (Se), baryum (Ba), arsenic (As), mercure (Hg)**, etc., peuvent être produits par les émissions échappement, non-échappement et par ré-suspension.

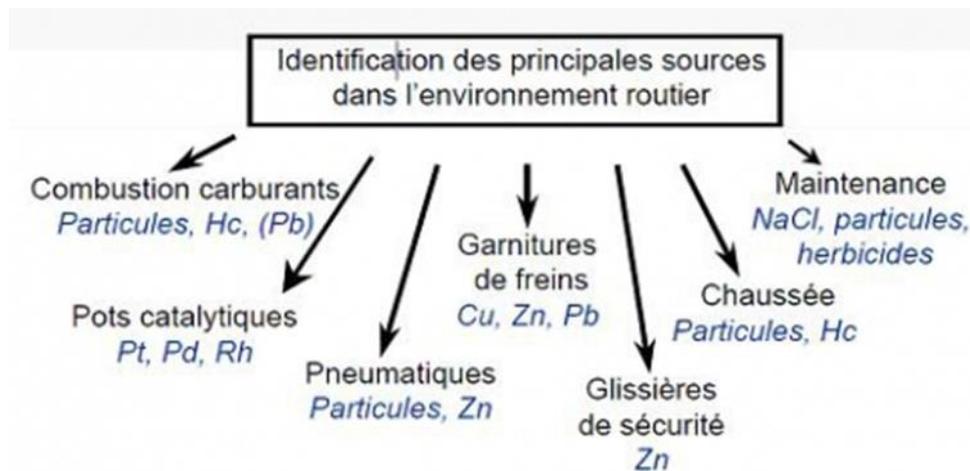


Figure 1.3 Principales sources de pollutions routières (Legret et al, 1997)

1.2.5. Facteurs influençant les émissions véhiculaires :

Les quantités de polluants rejetées par chaque véhicule sont appelées «émissions unitaires». Ces émissions sont influées par un ensemble de paramètres agissant directement ou indirectement à leur échappement. Par ailleurs, ces émissions sont la résultante de toute une série de variables à savoir le type de véhicule, la conduite du conducteur, les conditions de circulation, les caractéristiques de la route et des conditions climatiques.

Les paramètres relatifs à une voiture sont extrêmement nombreux. Il faut à la fois tenir compte des paramètres propres au véhicule comme la technologie du moteur et des facteurs externes tels que trajet, mode de conduite, météo, relief, altitude. De nombreuses études ont souligné ces variations sur l'émission des polluants réglementés (Aouragh, 2015).

1.2.5.1. Facteurs liés aux véhicules :

Les caractéristiques du véhicule ont une grande influence sur les émissions unitaires: type de véhicule, technologies mises en œuvre, l'âge du véhicule, type de carburant mais aussi l'entretien, le niveau de chargement et l'aérodynamisme.

La différence de fonctionnement de chacun de ces moteurs apporte des variations sur la composition des polluants émis à l'échappement. Citons par exemple la proportion majoritaire des particules émises par les voitures diesels (Aouragh, 2015).

Des études portant sur des véhicules de même marque, dotés de moteurs de puissance équivalente, et utilisés dans des conditions de circulation urbaines similaires. Il met en évidence le faible niveau d'émissions de particules, la réduction des oxydes d'azote, le silence à froid et au ralenti des véhicules essence par rapport aux véhicules diesel (*Pagotto, 1999*).

En particulier, les émissions d'hydrocarbures et d' HAP et la consommation de carburant sont plus élevées pour un véhicule essence que diesel (*Pagotto, 1999*).

Cependant, les véhicules à essence, munie d'un pot catalytique permet de réduire les émissions de certains polluants, notamment avec les pots catalytiques 3 voies montés sur tous les véhicules essence depuis 1993.

Sachant, dans ce cas que le pot catalytique entraîne une surconsommation de 5 % environ. En outre, si le catalyseur est moins efficace au démarrage, il n'est pas pour autant inefficace.

A ces paramètres, nous ajoutons l'entretien du véhicule. En effet, des différences de maintenance amènent des niveaux d'émissions différents. Sans oublié que la climatisation accroît la demande énergétique et par conséquent les émissions.

D'autre part, plus les véhicules sont lourds, plus les besoins énergétiques sont élevés, plus la consommation de carburant augmente et plus les émissions sont importantes.

1.2.5.2. Facteurs liés aux conditions de circulation :

Les émissions varient énormément selon les conditions de circulation: urbain lent, urbain fluide, route, autoroute,... En effet, les phases d'accélération et de décélération, la durée des arrêts aux feux (moteur au ralenti) ont un grand effet sur les niveaux d'émissions. Cependant, la vitesse est le paramètre essentiel influant sur la valeur des émissions. Plusieurs études ont montré que ce paramètre a une importance sur les émissions réglementées, par une décroissance des émissions lors de l'augmentation de la vitesse moyenne (*Aouragh, 2015*).

Par ailleurs, au cours des décélérations, le moteur est moins sollicité et les émissions à l'échappement sont moindres (*Pagotto, 1999*).

Ainsi, les émissions sont beaucoup plus importantes lorsque le véhicule est froid (surémission à froid au démarrage).

1.2.5.3. Facteurs liés aux conditions thermiques :

Au niveau de l'aspect thermique des véhicules, deux températures sont à prendre en considération, d'une part la température du moteur et d'autre part la température externe.

Lors du démarrage à froid, et tant que le moteur n'a pas atteint 70°C, les émissions sont plus importantes. Par ailleurs, plus la température ambiante est basse, plus le moteur met du temps pour atteindre sa température d'équilibre «mode chaud» et plus les émissions sont plus élevées, car les processus de combustion sont perturbés par le fait que les conditions d'équilibre ne sont pas atteintes à temps (*Aouragh, 2015*).

1.2.5.4. Facteurs liés à la route :

La nature de la route sur laquelle un véhicule se déplace influence ses émissions, car deux paramètres sont à prendre en considération l'altitude et la pente.

Une montée sollicite le moteur et induit une augmentation des consommations et émissions, dans une proportion qui peut être déterminée, selon le type de véhicules et les conditions d'utilisation, à l'aide de facteurs de surémissions (*Pagotto, 1999*).

1.2.5.5. Facteurs liés aux conducteurs :

Le comportement du conducteur est capable d'influencer les émissions. Pour la Fédération Belge de l'industrie de l'automobile et du Cycle (FEBIAC, 2001), «chaque automobiliste porte une responsabilité non négligeable par sa façon de conduire et l'état technique de sa voiture. Un style de conduite agressif peut réduire à néant tous les efforts réalisés par le constructeur pour économiser du carburant».

1.3. Réglementation et conventions vis-à-vis de la pollution atmosphérique d'origine routière :

1.3.1. Dans le monde :

Le caractère dangereux des polluants atmosphériques, a conduit l'Union Européenne à légiférer: des directives et des normes qui ont été mises en place pour limiter et contrôler les émissions polluantes entre autre dues au transport routier. La limitation de la teneur en plomb des carburants permet généralement de respecter cette directive européenne 82/ 884 CEE du 3 décembre 1982 qui fixe pour la moyenne annuelle une teneur limite de 2 µg/m³.

Par ailleurs, la plupart des pays a adopté des réglementations concernant les polluants automobiles, afin de fixer des valeurs limites d'émissions sur un certain nombre d'entre eux.

1.3.2. Cadre réglementaire et législatif en Algérie :

1.3.2.1. Etat des lieux :

La réglementation Algérienne relative au contrôle technique des véhicules neufs est reprise notamment dans les textes principaux suivants :

- Arrêté du 05 - 09 – 1984: conditions techniques de réception ;
- Décret N° 88-06 du 19-01-1988 et N° 04-381 du 28 novembre 2004: Règles circulation routière;
- Loi 01-14 du 19 Août 2001: organisation, sécurité et police circulation routière;
- Décret exécutif N° 03-410 du 05-11-2003: Seuils limites des polluants , HC, particules des véhicules neufs importés et du contrôle technique des véhicules en services;
- Décret exécutif N° 07-390 du 12-12-2007: Modalités d'exercice activité de commercialisation véhicules neufs.

Aucun de ces textes ne limite le niveau de consommation de carburant des véhicules importés.

Ces textes ne font également pas obligation aux concessionnaires d'informer le public sur le niveau des consommations des véhicules. Certains concessionnaire n'incluent même pas cette information dans les fiches techniques des véhicules, d'autres indiquent des valeurs de consommation sans en préciser les bases d'estimation ce qui les rend peu fiables et inutilisables).

Cette situation, malgré certaines mesures fiscales appliquées ces dernières années, n'incite pas à l'importation de véhicules peu énergivores, nous constatons au contraire l'apparition sur le marché de grosses cylindrées fortement consommatrices d'énergie. Ces véhicules sont également, souvent de technologie ancienne, car les véhicules énergivores sont en général de technologie plus ancienne (*Aouaragh, 2015*).

1.3.2.2. Enjeux de la réglementation relative à la consommation de carburant en Algérie :

Ces enjeux sont multiples. Il s'agit notamment de l'enjeu :

- Economique où la Consommation de carburant dans le secteur des transports représente la quasi-totalité de la consommation des produits pétroliers en Algérie (près de 10.000.000 de tonnes en 2009); Une amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules permettra de réduire, de façon substantielle, la consommation nationale en carburants. A rappeler, dans ce cadre, les gains réalisés en Europe (15% entre 1995 et 2007 et 40% entre 2007 et 2020) ;

- Environnemental où le secteur des transports représente une source majeure de pollution atmosphérique en Algérie, notamment dans les grands centres urbains où la situation est devenue préoccupante. La Réduction de la consommation de carburant entraîne directement la réduction des émissions des polluants, GES et polluants réglementés, améliorant ainsi la qualité de l'environnement;

- Technologique où les véhicules peu consommateurs d'énergie sont souvent de technologie plus récente. La réglementation de la consommation permettra donc d'améliorer le niveau technologique des moteurs du parc national véhicule (*Aouragh, 2015*).

Chapitre 2 : Plomb

Connu et utilisé depuis la plus haute antiquité, le plomb a vu ses usages et son emploi croître rapidement du fait de sa disponibilité et de ses caractéristiques physiques et mécaniques. Sous l'Empire romain, son emploi était déjà très courant et la production annuelle de plomb atteignait 60 000 tonnes. Plus près de nous, le développement industriel et l'essor de l'automobile ont eu pour conséquence une augmentation considérable de la production de plomb et de l'emploi de ce métal et de ses dérivés. Il en a résulté une dispersion importante de cet élément dans l'environnement et une augmentation des risques d'exposition. Toutes les formes de plomb bio disponibles sont responsables d'effets toxiques vis-à-vis des organismes vivants. En effet, si des doutes persistent quant à la responsabilité du plomb dans le déclin de l'Empire romain, les effets résultant d'intoxications aiguës ou chroniques sont maintenant bien connus et leur gravité incontestable ne peut être sous-estimée (*Maizi, 2013*).

2.1. Généralités :

Le plomb, du latin « *plombum* » qui signifie liquide argenté, c'est un métal mou, gris, brillant qui se ternit à l'air. Il n'a ni goût ni odeur caractéristique. Il appartient au groupe IV-b de la classification périodique des éléments.

Connu et utilisé depuis la plus haute antiquité, le plomb a vu ses usages et son emploi croître rapidement du fait de sa disponibilité et de ses caractéristiques physiques et mécaniques. La toxicité du plomb est aujourd'hui avérée, elle était déjà soupçonnée du temps des Romains quand ils se rendirent compte d'une épidémie de stérilité chez les hommes associée à l'intoxication par l'acétate de plomb utilisé pour la conservation du vin. En effet, les anciens écrits attestent de sa présence et utilisation du temps des Egyptiens, Grecs, Romains et Hébreux.

Plus près de nous, le développement industriel et l'essor de l'automobile ont eu pour conséquence une augmentation considérable de la production de plomb et de l'emploi de ce métal et de ses dérivés. Il en a résulté une dispersion importante de cet élément dans l'environnement et une augmentation des risques d'exposition. Le Plomb est assez abondant dans la croûte terrestre où sa concentration moyenne est comprise entre 10 et 20 mg/kg (*Garnier, 2005*).

<i>Dénomination</i>	<i>Masse Atomique</i>	<i>Point de Fusion (°C)</i>	<i>Point d'ébullition (°C)</i>	<i>Solubilité</i>
<i>Plomb (Pb)</i>	207,19	327,5	1740	Insoluble dans l'eau froide, faiblement soluble dans l'eau chaude, soluble dans l'acide nitrique et dans l'acide sulfurique à chaud, faiblement soluble dans l'alcool
<i>Acétate de plomb</i>	325,28	280		Très soluble dans l'eau (20 à plus de 200 g/l, selon la température)
<i>Carbonate neutre de plomb (cérussite)</i>	267,2		315 (décomposition)	Très peu soluble dans l'eau (1.75 mg/l) ; très soluble dans les acides
<i>Carbonate basique de plomb (cérusse)</i>	775,2		400 (décomposition)	Très soluble dans les acides, même faibles
<i>Chlorure de plomb</i>	278,11	501	950	Faiblement soluble dans l'eau chaude et l'acide chlorhydrique
<i>Nitrate de plomb</i>	331,2		453 (décomposition)	Très soluble dans l'eau ; très soluble dans l'acide acétique
<i>Oxyde jaune de plomb (litharge)</i>	223,19	888		Très peu soluble dans l'eau ; très soluble dans l'acide acétique
<i>Minium de plomb (oxyde rouge)</i>	685,17	500		Insoluble dans l'eau. Soluble dans l'acide acétique et dans l'acide nitrique dilué
<i>Sulfate de plomb (anglésite)</i>	303,25	1170		Très peu soluble dans l'eau. Faiblement soluble dans l'acide sulfurique concentré
<i>Sulfure de plomb (galène)</i>	239,25	1114		Très peu soluble dans l'eau. Soluble dans les acides

Tableau 2. 1 : Propriétés physico-chimiques du plomb et ses dérivés (Garnier. 2005)

Il est très rare à l'état natif mais beaucoup plus répandu sous différentes formes : sulfures et leurs produits d'altération, halogénures et oxyhalogénures, arsenio et antimoniosulfures, oxydes, carbonates et silicates. Le Plomb est principalement extrait à partir de la galène (Sulfure de plomb : PbS). Deux autres minerais sont également utilisés : La cérusite (Carbonate de plomb : $PbCO_3$) ou l'anglésite (sulfate de plomb : $PbSO_4$) qui proviennent de l'oxydation de la galène dans les zones les plus anciennes des gisements (*Benadda, 2002*).

2.2. Usage du plomb :

Le plomb a été préconisé pour de nombreux usages et bien que certains d'entre eux aient été abandonnés, il reste encore très employé du fait de certaines de ses propriétés particulièrement intéressantes :

- Densité élevée ;
- Ductilité et malléabilité importante ;
- Bas point de fusion ;
- Inertie chimique ;
- Résistance à la corrosion (*Maizi, 2013*).

Parmi les usages du plomb on peut noter :

- Dans les industries chimiques qui emploient des acides, le plomb est utilisé pour la réalisation de tuyauteries et de bacs. la fabrication des batteries d'accumulateurs où il est employé sous forme d'alliages pour les plaques et sous forme d'oxyde pour la fabrication des pâtes garnissant les électrodes, le plomb ainsi utilisé peut être facilement recyclée. Les dérivés du plomb tel que pigments blancs, principalement le carbonate de plomb (céruse), éventuellement le sulfate de plomb ont été autrefois très utilisés dans la peinture pour l'intérieur des locaux (*Garnier R. 2005*) ;

- Dans l'industrie automobile dès 1920, le plomb Tétraéthyle ($Pb(C_2H_5)_4$) et Tétraméthyle ($Pb(CH_3)_4$) ont été utilisés comme additifs antidétonants dans les carburants. Leur emploi a rapidement progressé pour atteindre 380 000 tonnes par an dans le monde en 1973, puis a décliné pour atteindre environ 72 000 tonnes en 1990. En effet, dès 1970 des mesures ont été prises pour réduire les teneurs en dérivés organiques du plomb dans les essences. il est employé également pour la garniture des freins, des alliages à base de plomb sont encore très utilisés pour la fabrication de gaines pour câbles électriques, pour la soudure et le sertissage ;

- Enfin, dans l'industrie des armes une quantité non négligeable de plomb est utilisée pour la fabrication des projectiles pour la chasse ou le tir.

Parmi ces usages industriels, on peut aussi noter l'usage dans l'insonorisation, dans les réseaux de distribution d'eau et de gaz de ville (tuyauterie), dans l'anti-vibration, la radioprotection dans les centrales nucléaires, dans les installations de radiographie et les équipements électronique...

De tels méthodes ont été progressivement limités et sont pour la plupart presque interdites dans la majorité des pays industrialisés, cependant une directive européenne de 1989 (89/ 677/ CEE) interdit de tels usages sauf si l'objectif est la préservation. Malgré de telles interdictions, de nombreux problèmes de pollution persistent en ce qui concerne ces différentes utilisations.

2.3. Sources d'exposition du plomb :

Les sources de plomb dans l'environnement peuvent être naturelles ou anthropogéniques. Le plomb est un élément naturel pouvant se retrouver dans tous les milieux environnementaux. De petites quantités de plomb atteignent l'environnement de surface par des processus naturels d'altération et des émissions volcaniques, donnant ainsi une exposition environnementale de base.

Cependant, la présence abondante et répandue de plomb est en grande partie une conséquence de l'activité anthropique. Les sources naturelles (les émissions volcaniques, les sources biogéniques, feux de forêts sauvages, et les particules de sol transportées par le vent) combinées émettent 19 000 tonnes de plomb dans l'air chaque année (*U.S.EPA 2006*), alors que la quantité de plomb arrivant dans l'océan par les rejets provenant de sources naturelles dans les fleuves a été estimée à 17 000 tonnes par an (*WHO 1977*). Le plomb et ses dérivés sont émis en permanence dans l'atmosphère, dans les eaux et dans les sols, par le biais d'émissions atmosphériques.

2.3.1. Atmosphère :

La contamination de l'atmosphère est souvent transitoire car ce compartiment constitue un lieu important de transfert de pollution vers les eaux et les sols par l'intermédiaire des précipitations sèches ou humides.

Les niveaux préindustriels du plomb dans l'air d'origines naturelles (émissions volcaniques, croûte, décomposition du radon et émissions costales) sont de l'ordre de 0,01-0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*WHO 1977*). Le plus bas niveau depuis 1975 mesuré au pôle sud correspond à 0,000076 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*US EPA 1986*).

Selon l'US EPA, Les émissions industrielles représentaient 78% du plomb dans l'air, suivies du secteur des transports avec 12% et enfin la combustion représentait 10% (ATSDR 2007). Pendant le 20ème siècle, l'essence au plomb a été la principale source de plomb dans l'air. La circulation automobile est responsable de 90 % de la présence du plomb dans l'atmosphère (Caplan et al. 1984). Depuis l'interdiction de l'essence au plomb, et la décroissance des concentrations atmosphériques, l'exposition par inhalation est devenue une source négligeable comparée à l'ingestion.

L'Algérie utilise toujours de l'essence au plomb à raison de 0.45 g/l, alors qu'il est l'un des plus grands producteurs mondiaux de GPL (gaz de pétrole liquéfié, à 0 % de plomb). L'accord pour l'introduction de ce carburant ultra-propre appelé communément « SIRGHAZ » a été donné en 1982 à Alger par le conseil des ministres, son utilisation connaît une augmentation sensible ces dernières années dans le but de réduction de la consommation des carburants polluants

Selon l'OMS (OMS, 1995), une concentration de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomb dans l'air accroît la plombémie de 10 $\mu\text{g}/\text{l}$; ainsi les concentrations actuelles de plomb dans l'air (entre 10 et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Ayrault et al. 2010) ne pourraient augmenter la plombémie que de 0,1 à 0,2 $\mu\text{g}/\text{l}$, par rapport à une moyenne géométrique de 15 $\mu\text{g}/\text{l}$.

2.3.2. Alimentation et Eau :

Les sources de plomb dans les aliments peuvent être naturelles ou anthropogéniques, et la contamination peut survenir à l'origine (matière première contaminée par le plomb atmosphérique ou géogénique) ou à n'importe quel point du processus de fabrication, par contact avec des outils métalliques, lors de la soudure, les pigments, vernis, ou l'emballage.

Le plomb pénètre aussi dans l'alimentation à partir d'une eau potable ou d'irrigation chargée. Les niveaux de plomb sont très faibles dans l'eau de source et dépassent très rarement 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ (DGS 2003). Actuellement, la valeur limite réglementaire, établie par la directive européenne du 5 décembre 1998, est de 25 $\mu\text{g}/\text{l}$ et passera à 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ fin 2013.

L'eau du robinet peut se retrouver contaminée à travers la corrosion des matériaux de plomberie contenant du plomb (Levin 1986). Les ustensiles de cuisine telle que les poteries en céramique et autres vaisselles traditionnelles (exemple des plats à tagines) contenant du plomb peuvent être des sources d'exposition importantes.

2.3.3. Poussières et Sols :

Les poussières sont en général composées de fines particules de sol, de peintures, et des émissions industrielles ou automobiles avoisinantes. Elles s'accumulent sur les surfaces et adhèrent aux fibres des vêtements et des tapis. L'ingestion de particules de poussière est la voie principale pour les enfants les plus exposés, les réglementations pour la réduction du plomb incluent des valeurs limites relatives aux concentrations en plomb dans les poussières.

Dans les sols, le plomb est lié aux activités humaines antérieures, surtout l'utilisation de l'essence au plomb, conduisant à une ré-déposition du plomb émis au pot d'échappement.

Les huit décennies de combustion de l'essence au plomb et les émissions industrielles passées se sont ajoutées au plomb déjà présent dans la croûte terrestre, alors que ce dernier est peu accessible, le premier est habituellement déposé en surface. En raison du niveau de trafic et logement plus denses, les sols dans les zones urbaines peuvent contenir en moyenne 800-1200 mg/g (*Duggan, 1985*).

Le sol des aires de jeu a un impact plus important sur les plombémies des enfants que le sol d'autres endroits. Le plomb contenu dans les pneus est rapidement usé et broyé en petits morceaux par le trafic, contribuant ainsi à l'augmentation de la charge en plomb dans les sols des milieux urbains (*Root, 2000*). Le sol contribue également à l'exposition à travers la consommation de produits cultivés sur des sols contaminés (*Finster et al. 2004*).

2.3.4. Autres sources d'exposition :

Pour certaines populations, d'autres sources de plomb peuvent être plus importantes et être à l'origine d'intoxications :

- La contamination par des vêtements de travail rapportés au domicile par un proche exposé professionnellement ;
- L'utilisation de cosmétiques contenant du plomb ;
- La fabrication de soldats de plomb ;
- L'ingestion de plomb de pêche, de chasse ou de lestage de rideaux ;
- La fabrication de munitions et la pratique régulière du tir avec des armes à feu dans un local mal ventilé. La rétention de projectiles de plomb après blessure par arme à feu est fréquente, Les pigments de plomb dans les jouets et les crayons sont d'autres sources d'exposition (*Garnier, 2005*).

2.4. Contamination de l'atmosphère :

Dans l'environnement, les concentrations observées dépendent de la proximité d'industries, de zones urbanisées et de la nature des carburants utilisés, avec des valeurs plus élevées dans certaines ambiances de travail et dans les zones de fort trafic automobile (*KawalskaPylka et al, 1995*).

Dans les villes, les teneurs observées varient entre 0,5 µg et 10 µg/m³ dans les zones à forte circulation automobile et dans le cas d'usage de carburant renfermant des additifs de plomb. Des mesures faites à Paris montrent que dans les zones les plus polluées les concentrations moyennes observées sont passées de 7,8 µg/m³ en 1978 à 0,7 µg/m³ en 1991.

2.5. Effets du Plomb :

Le plomb est présent naturellement dans l'environnement. Cependant, la plupart des concentrations en plomb que l'on trouve dans l'environnement sont le résultat des activités humaines, étant considérés comme l'un des quatre métaux les plus nocifs pour la santé et ses principaux effets sont :

2.5.1. Effets sur les animaux et la végétation (Eco-toxicologie) :

Le plomb sous forme pure et fine, sous forme de sels simples ou de composé organique est plus ou moins facilement assimilé par tous les organismes vivants (faune, flore, fonge, bactéries).

Champignons : Ils captent et stockent très bien le plomb, et jouent un rôle important dans le cycle toxique du plomb, au point qu'ils pourraient être utilisés pour dépolluer (phyto-remédiation) (*Uzu, G. 2009*) ;

Invertébrés : le plomb est hautement toxique pour de nombreux invertébrés, particulièrement pour les invertébrés d'eau douce (dès 0,1 mg/L en eau douce selon le Rapport OMS/ONU, 1989). Les invertébrés marins le tolèrent mieux car résistant à des doses 20 fois plus élevées, mais néanmoins avec une toxicité manifeste dès 2,5 mg/L.

Crustacés terrestres : Certains comme les Cloportes semblent particulièrement résistants au plomb ;

Insectes : les larves sont probablement plus vulnérables au plomb que les adultes : Des chenilles nourries avec des aliments contenant des sels de plomb présentent des troubles du développement et de la reproduction (*Rapport OMS/ONU, 1989*) ;

Mammifères : Ils subissent globalement les mêmes effets que l'être humain ;

Poissons : La toxicité du plomb varie selon les espèces, avec des teneurs limites allant de 1 à 27 mg/L en eau douce, et 440 à 540 mg/L en eau dure ou salée (Rapport OMS/ONU, 1989). Les œufs et très jeunes poissons y sont plus vulnérables que les adultes ;

Amphibiens : Les œufs de grenouilles et de crapauds sont vulnérables à des teneurs inférieures à 1,0 mg/L en eau stagnante et 0,04 mg/L en eau courante se manifestant par des arrêts de développement de l'œuf ou retards d'incubation. Les grenouilles adultes sont affectées à partir de 5 mg/L dans l'eau (Rapport OMS/ONU, 1989) ;

Oiseaux : Des sels de plomb ajoutés dans la nourriture intoxiquent les oiseaux à partir d'environ 100 mg/kg de nourriture. L'exposition de cailles à une nourriture contenant 10 mg de plomb par kg induit des effets sur la production d'œufs (Rapport OMS/ONU, 1989). L'ingestion de grenaille de plomb est très toxique pour tous les oiseaux. C'est une cause très fréquente de saturnisme aviaire.

2.5.2. Effets sur l'homme :

Le plomb est un toxique cumulatif qui se distribue dans l'organisme au niveau des tissus mous et du sang où sa demi-vie est limitée, respectivement à 40 jours dans les tissus et entre 20 et 30 jours dans le sang. Le système osseux constitue l'organe de réserve stockant jusqu'à 90% du plomb présent dans l'organisme avec une demi-vie estimée à plus de 10 ans. Le plomb s'accumule également dans les dents et les phanères. Ces organes de stockage sont la source de relargage de plomb dans le sang et les tissus mous. La principale voie d'excrétion est l'urine (75%).

Le plomb agissant par interférences métaboliques (métabolisme du calcium, du fer, synthèse de l'hème, médiateurs du système nerveux), les manifestations toxiques de ce polluant se caractériseront principalement par des effets sur le système hématopoïétique, le système nerveux central, les reins et les os.

2.5.2.1 Effets hématologiques :

L'action des dérivés du plomb sur la synthèse de l'hémoglobine est connue depuis longtemps; elle se traduit par une inhibition de l'activité des enzymes (acide delta aminolévulinique-déshydratase) et hème synthétase intervenant dans la biosynthèse de

l'hémoglobine. Les principales conséquences de cette inhibition et une baisse du transport de l'O₂ des poumons vers le reste de l'organisme.

L'augmentation des concentrations d'ALA urinaire (acide delta aminolévulinique urinaire) s'observe pour des taux de plombémie variables selon les auteurs : 100 à 900 µg/l. Pour certains, la synthèse de l'hème n'est perturbée qu'à partir de 400 µg/l. L'augmentation des taux de PPZ (Protoporphyrine Zinc) s'observe avec un taux de plombémie d'environ 200 µg/l. Par une réduction de la durée de vie des érythrocytes et l'inhibition de la synthèse de l'hème, l'anémie est un effet classique de l'action toxique du plomb (Plombémie) (*Amdur., et al. 1996*).

2.5.2.2. Effets sur le système nerveux :

L'exposition à des niveaux élevés de plomb peut être à l'origine de paralysies partielles caractérisant surtout les membres supérieurs par atteinte du nerf radial. Relativement rares, ces cas seraient observés pour des plombémies supérieures à 1200 µg/l (*Maizi, 2013*).

En l'absence d'encéphalopathie aiguë, l'action du plomb peut être à l'origine de troubles neurologiques observés aussi bien chez l'adulte que chez l'enfant; certes moins sévères, ils se caractérisent par diverses manifestations telles que : irritabilité, troubles du sommeil, anxiété, perte de mémoire, fatigue... Ces troubles apparaîtraient pour des plombémies de l'ordre de 200 à 400 µg/l sans qu'il soit possible d'affirmer qu'ils n'apparaissent pas à des seuils inférieurs. L'utilisation des tests psychomoteurs pour évaluer l'existence d'éventuels effets infracliniques a mis en évidence la susceptibilité particulière de l'enfant par rapport à l'adulte (*Maizi, 2013*).

2.5.2.3. Effets rénaux :

L'action du plomb sur le fonctionnement du système rénal (modifications cellulaires au niveau des tubes proximaux du rein) se produit pour des plombémies supérieures à 1500 µg/l et est souvent associée à une exposition chronique. Les plombémies pour lesquelles aucun effet rénal n'a été observé à long terme sont de 600 µg/l et 620 µg/l (*Maizi, 2013*).

2.5.2.4. Effets sur les os :

Chez l'enfant, l'apparition sur l'os de bandes radio-opaques denses est le témoignage d'une imprégnation saturnine importante : elle se manifeste après plusieurs semaines pour des plombémies supérieures à 500 µg/l. (*Laurewys, 1988*).

2.5.2.5. Effets sur la reproduction :

Les effets du plomb sur la reproduction humaine masculine se traduisent d'une part au niveau de la production de spermatozoïdes, d'autre part au niveau de leur qualité; ces manifestations apparaissent pour des plombémies variant selon les auteurs de 410 µg/l à 880µg/l.

La baisse de la fertilité est cependant observée pour une exposition prolongée depuis la vie intra-utérine jusqu'à la vie adulte.

La contamination à de fortes doses chez la femme en gestation (plombémies de 520 à 920 µg/l) peut entraîner pour sa descendance une diminution du nombre de spermatozoïdes de 20%. Ces diverses expériences laissent penser que les effets du plomb sur la reproduction masculine sont fonction de la dose de plomb et de l'âge auquel se produit cette contamination. (*Boscolo et al, 1988*).

2.5.2.6. Autres effets :

D'autres effets peuvent être liés à l'exposition au plomb :

- Une hépatite cytolitique a été notée pour des intoxications aiguës massives ;
- Les « coliques de plomb » sont peu observées chez l'enfant; par contre, des douleurs abdominales peuvent apparaître pour des plombémies supérieures à 500 µg/l ;
- Les plombémies élevées sont corrélées négativement avec le poids, la taille et le périmètre thoracique ;
- Une prématurité est associée à une intoxication fœtale par le plomb ;
- Il n'y a pas d'association entre exposition au plomb et cancer (*Maizi, 2013*).

2.5.3. Notion de Plombémie :

Il s'agit principalement des effets du plomb sur le système nerveux des enfants.

La plombémie est le marqueur le plus utilisé dans les enquêtes, mais elle présente de nombreux inconvénients et des limites évidentes. Bien que présentant l'avantage d'intégrer tous les apports et voies d'entrée (atmosphère, eau, alimentation), elle ne représente qu'un équilibre dynamique à un instant donné, et non pas la charge en plomb de l'organisme. La demi-vie du plomb dans le compartiment sanguin est d'une vingtaine de jours environ. Chez les nourrissons de moins d'un an, la plombémie n'est pas stable. La précision du dosage diminue pour les faibles teneurs, ce qui ne facilite pas l'élaboration de relations dose-effet. Le plomb dans le lait maternel est lié à l'exposition actuelle de la mère et aux expositions passées remobilisées à partir des os (*Chien et al. 2006*). Même de faibles niveaux de plomb dans le lait maternel influencent fortement la

plombémie d'un nourrisson (*Ettinger et al. 2006*). De plus la prise de sang chez les enfants peut être mal acceptée par les parents.

Les dents sont un tissu pertinent pour apprécier l'accumulation du plomb dans l'organisme. Les teneurs en plomb que l'on y mesure sont, en conséquence, faiblement voire pas du tout corrélées à la plombémie. Le recueil des dents de lait est une méthode particulièrement acceptée, mais on doit tenir compte de la nature de la dent et de l'âge de la chute. Des enquêtes transversales ont été réalisées pour évaluer les effets neurocomportementaux du plomb à des périodes déterminées de la vie des enfants. Des études ont montrés que **l'exposition aux dérivés du plomb est responsable d'une diminution du Quotient Intellectuel**. Les résultats des études concernant le QI verbal, les capacités perceptivo-motrices ou motrices fines, les acquisitions scolaires ou le comportement sont plus contradictoires (*chanel, et al 1999*).

Ces travaux sont confortés par les résultats des **études neuro-physiologiques** qui ont mis en évidence des altérations de potentiels corticaux lents pour des plombémies inférieures à 150 µg/l (*BENIGNUS 1981*), des altérations de potentiels évoqués visuels, une augmentation des seuils auditifs à partir de plombémies aussi faibles que 60 µg/l, sans qu'un seuil puisse être précisé. Ces données encore partielles sont, de toute évidence, liées aux altérations des capacités d'apprentissage montrées ci-dessus dont le saturnisme qui n'est autre qu'une maladie correspondant à une intoxication aiguë ou chronique par le plomb. Ce nom fait référence à la planète Saturne, symbole du plomb en alchimie.

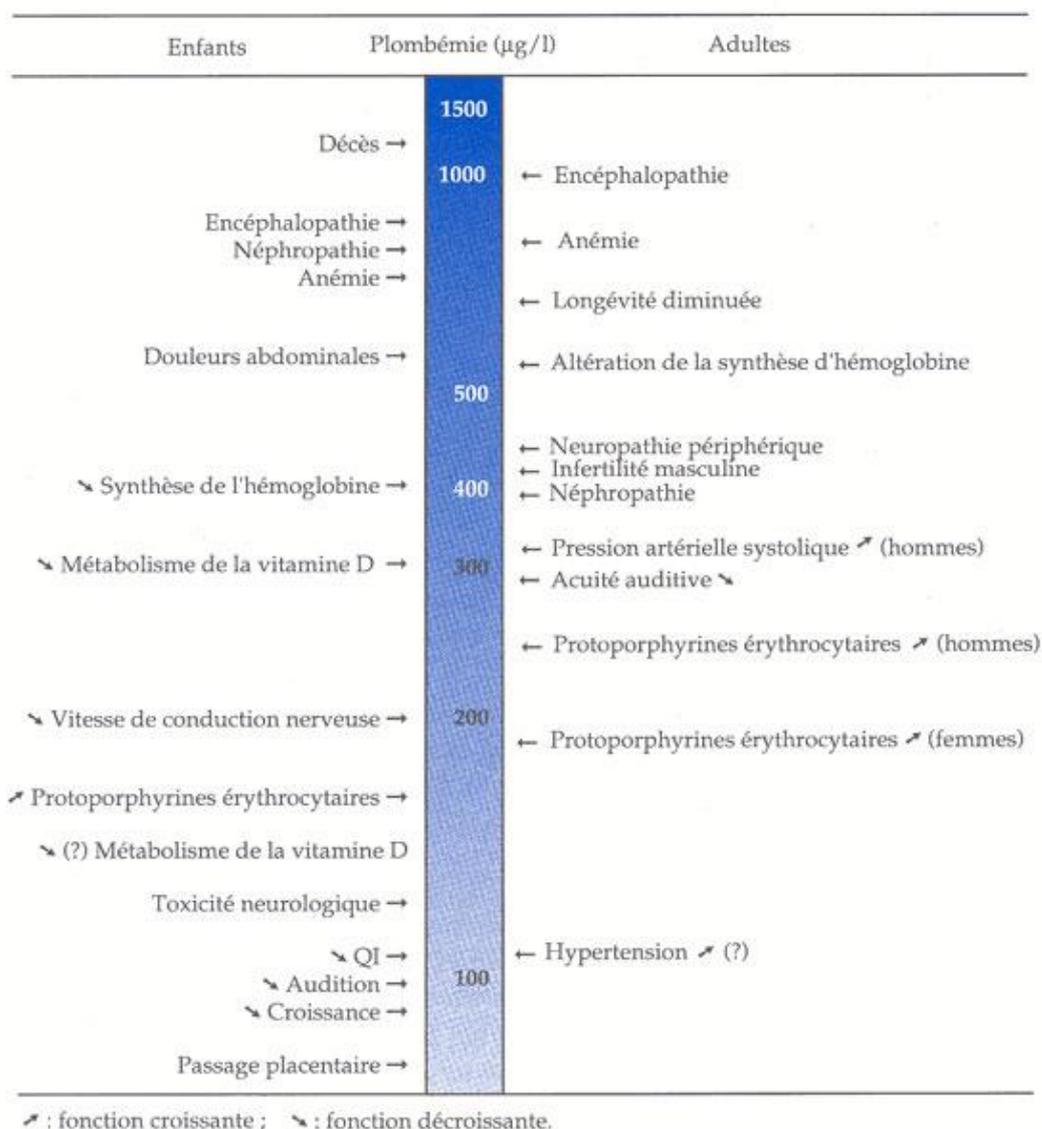


Figure 2. 1: Effets du plomb inorganique sur les enfants et les adultes. Taux minimum où l’effet peut être observé (d’après Agency for toxic substance and disease registry,1990)

2.5.4. Doses et Seuils tolérables :

Des seuils ont autrefois été fixés, mais qui n'ont plus de sens : le plomb est toxique quelle que soit sa dose, et il n'existe pas de seuils de tolérance au plomb, notamment pour les catégories de personnes décrites ci-dessus. Le toxicologue se réfère néanmoins encore parfois à différents types de références (seuils, normes ou doses tolérables ou admissibles), dont : « Dose Journalière Admissible » (DJA), « Dose Journalière Tolérable » (DJT), « Dose hebdomadaire tolérable » (DHT) ou DHTP (« Dose hebdomadaire tolérable provisoire » ; « Dose Limite Annuelle » (DLA)...

Pour fixer quelques ordres de grandeur :

- **Dans l'alimentation**, la DHT (dose hebdomadaire tolérable) était en France pour le plomb (avant 2006) provisoirement fixée à 1 500 µg/semaine pour le plomb. Pour l'Union européenne, les taux maximaux en plomb (en mg/kg de poids frais) sont de 0,3 pour la chair (muscle) de poisson, 0,5 pour les crustacés, 1 pour les céphalopodes et 1,5 pour les mollusques bivalves. Depuis (en 2006), l'OMS a réduit la DHT pour le plomb à 25 µg/kg de poids, soit une dose journalière tolérable de 3,6 µg/kg). Ceci signifie que même le plus petit plomb de pêche commercialisé correspond à une quantité de métal toxique significative, s'il est ingéré sous une forme bio assimilable ;

- **Pour l'eau potable**, la norme en France était de 50 µg/ljusqu'en décembre 2003, elle ensuite passée à 25 µg/lpuis à 10 µg/en décembre 2013 ;

- **Pour les sols**, le plomb est naturellement présent (c'est ce qu'on appelle le fond pédogéochimique naturel) à hauteur de quelques dizaines de mg par kg de sol ; par exemple une synthèse des données existantes sur l'état des sols en France (*Baize, 1997*), montre que les teneurs en plomb de 11 150 échantillons, prélevés en surface des zones agricoles (avant épandage de boues de station d'épuration), sont relativement dispersées avec une moyenne des teneurs de 30,3 mg/kg pour une médiane de 25,60 mg/kg. Dans un rapport public de synthèse du BRGM, on trouve des chiffres de 10 à 30 mg/kg pour des sols non pollués. Localement des apports anciens (séquelles de guerre, industrielle ou utilisation d'arséniate de plomb comme insecticide ont pu modifier les teneurs apparemment « naturelles » du sol) (dès l'antiquité romaine) ;

- **Pour la santé**, Aux États-Unis, la CSPC (Consumer Product Safety Commission) a fixé comme standard qu'une assimilation de plomb équivalent à 175 mg/jour nécessite une visite de contrôle. En 2011, sur la base des analyses dose-réponse relatives au plomb dans l'alimentation, le Comité OMS en charge de réviser la DHTP de 25 µg/kg de poids corporel (PC) précédemment établie par lui a constaté que ce seuil était inapproprié puisque manifestement encore associé à « une diminution d'au moins 3 points de QI chez les enfants et à une augmentation de la pression artérielle systolique d'environ 3 mmHg (0,4 kPa) chez les adultes. Ces changements sont importants lorsqu'on les considère comme un changement dans la distribution du QI ou de la pression de la population au sein d'une population. Le Comité a donc conclu que la DHTP ne pouvait plus être considérée comme une protection de la santé et a été retirée ». Le comité invite aussi à mieux évaluer l'exposition à d'autres sources de plomb qu'alimentaire.

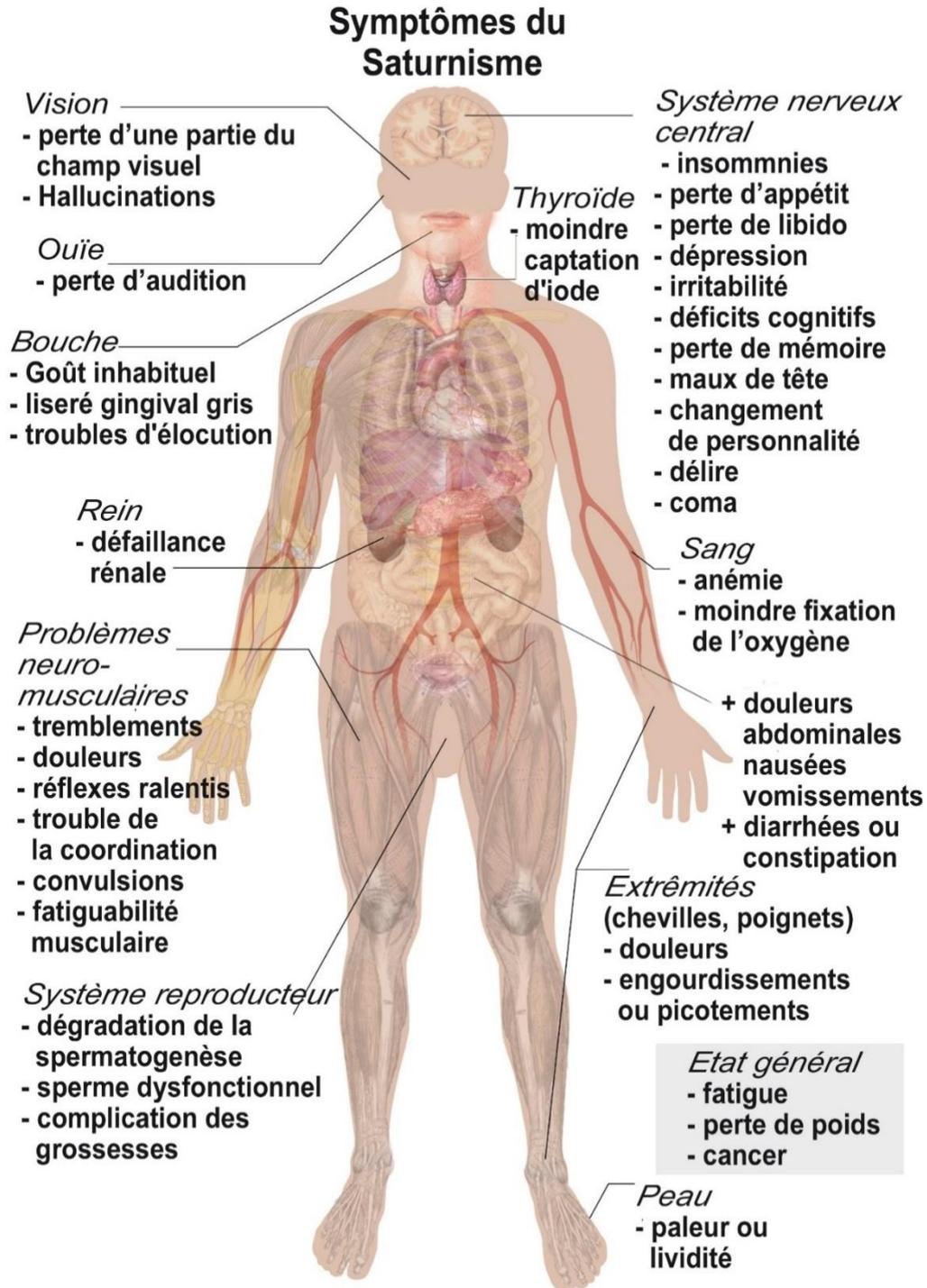


Figure 2. 2: Symptômes du saturnisme (Hägström, 2015)

Chapitre 3 : Réseaux de surveillance et Méthodes d'analyses

Les réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique constituent la base du système de contrôle de la pollution atmosphérique. Ils permettent à la population de connaître la réalité sur ce problème majeur de société et de faire avancer les choses dans le bon sens. Néanmoins leur efficacité reste parfois limitée en raison des contraintes politiques et économiques locales ou nationales.

Quelques collecteurs et méthodes d'analyses sont évoquées ci-dessous.

3.1. Méthodes de réseaux :

Les réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique constituent la base du système de contrôle de la pollution atmosphérique.

3.1.1. Objectifs :

Les missions des réseaux sont :

- **Etablir des statistiques** sur les niveaux des polluants ;
- **Vérifier les normes de pollution** pour les polluants réglementés et effectuer des mesures ponctuelles de polluants non réglementés ;
- **Déclencher des alertes** par la synthèse entre les informations sur les concentrations de polluants et les prévisions météo, des arrêts momentanés du fonctionnement d'une centrale thermique, d'une usine ou des interventions sur la circulation des véhicules en zone urbaine, peuvent être décidés. Cette intervention est effectuée par le préfet après information par les réseaux ;
- **Informé le public** par l'intermédiaire des media. Les réseaux publient chaque jour un indice de pollution (indice ATMO) qui caractérise la qualité de l'air dans les villes importantes (*Masclet, 2005*).

Le 5 Juin 2001 est la date de mise en place du premier réseau de surveillance de la qualité de l'air à Alger, baptisé « SAMA SAFIA », il fait partie de l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable. Les missions assignées à « SAMA SAFIA » :

- Surveiller en continu les niveaux de pollution atmosphérique dans les principaux centres urbains ;
- Détecter les pics de pollution et les périodes durant lesquelles le seuil limite est dépassé ;
- Etablir des prévisions de qualité de l'air en utilisant des modèles de simulation ;
- Alerter les autorités durant les situations critiques et informer les populations des mesures à suivre pour minimiser les impacts sur la santé ;
- Permettre une programmation des mesures à mettre en œuvre pour protéger la santé des citoyens et améliorer la qualité de vie (*Karim, 2008*).

3.1.2. Polluants mesurés :

Les mesures habituellement effectuées par les réseaux concernent les polluants règlementés :

- Dioxyde soufre SO₂ ;
- Oxydes d'azote NO_x ;
- Poussières déposées sur filtre ;
- Ozone.

Ces mesures sont réalisées en permanence automatiquement ou semi séquentiellement avec des pas de prélèvements courts variant de quelques minutes à quelques heures. D'autres polluants sont aussi mesurés, comme le CO, mesuré au centre des agglomérations urbaines par infrarouge non dispersif.

A côté de ces mesures classiques, on effectue d'autres mesures plus ponctuelles :

- **Plomb** particulaire collecté sur filtres. Sa concentration est déterminée par absorption atomique ou chimiquement ;
- **Hydrocarbures** non méthaniques totaux ;

Par ailleurs les réseaux mesurent parfois des polluants spécifiques émis par des industries particulières :

- Fluor ;
- Calcium ;
- Vanadium ;
- Acides minéraux tels que HCl ;

Les méthodes de mesure seront vraisemblablement :

- La chromatographie gazeuse, liquide ou l'infrarouge pour les photooxydants ;
- La chromatographie liquide couplée à la fluorescence UV pour les HAP ;
- La chromatographie gaz avec cartouche absorbante ou canister pour les BTEX ;
- Les mesures spectroscopiques (*Masclat, 2005*).

3.2. Différents types de collecteurs :

La collecte correcte des aérosols est toujours difficile, il est nécessaire d'obtenir un échantillon représentatif quel que soit le mode de prélèvement.

Pour cela, il faut éviter :

- Le fractionnement des particules (certaines particules risquent de n'être pas recueillies) ;
- La présence des coudes dans les canalisations ;
- Les artefacts chimiques, c'est-à-dire les réactions catalysées par la surface de collecte des aérosols.

Des pertes peuvent aussi se produire en raison des charges électrostatiques déposées sur le filtre ou du colmatage de celui-ci, si le prélèvement est trop long, etc. ... (*Masclat, 2005*).

3.2.1. Appareils de filtration :

Il existe deux types de systèmes de prélèvements : figure ci-dessous

- Les échantillonneurs à faible volume (débit de 1 à 20 L.mn⁻¹) utilisés pour les mesures à l'émission ou en milieu pollué ;
- Les échantillonneurs à grand volume (HIVOL ou HVS ; débit d'environ 70 m³.h⁻¹).

Ces appareils sont utilisés pour les mesures en site peu pollué ou pour effectuer des prélèvements courts. L'échantillonneur HIVOL est placé dans un abri afin de protéger le filtre de la pluie et de la lumière solaire directe (*Masclat, 2005*).

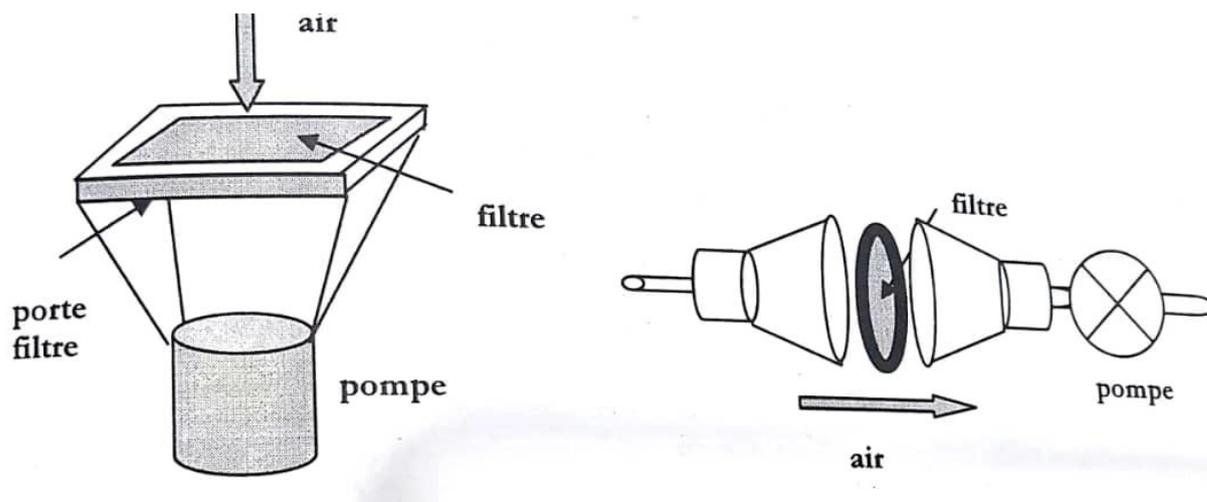


Figure 3. 1 : Système à grand volume (à gauche) et à petit volume (à droite) (Masclat, 2005)

3.2.2. Précipitateur électrostatique :

Les particules sont chargées, puis attirées sur une plaque chargée contrairement. Le plus souvent les précipitateurs sont constitués d'un grand cylindre avec un fil central, ou l'on produit une décharge Corona entre le fil et les murs. Les ions formés entrent en collision avec les particules. L'efficacité de piégeage est très grande, mais évidemment il n'y a pas de tri en fonction de la taille des particules. Il s'agit plutôt d'une méthode de dépollution qu'une méthode de prélèvement des particules dans l'air ambiant.

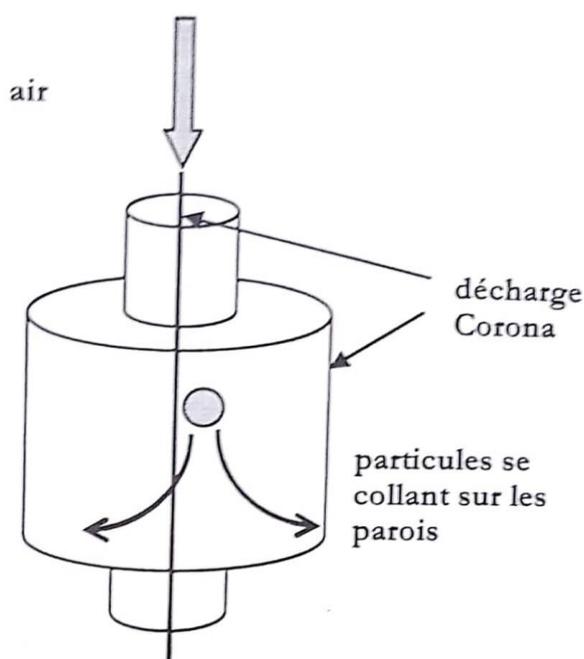


Figure 3. 2 : Précipitateur électrostatique (Masclat, 2005)

3.2.3. Jauges de précipitation :

La mesure des retombées atmosphérique repose essentiellement sur la technique de collecte des retombées par les jauges de précipitations. Il existe plusieurs modèles de jauges mais elles ont la même forme de base un récipient généralement cylindrique surélevé du sol par un support.

- Modèle Belge :

C'est model simple, ressemble à la jauge de précipitation utilisée au niveau des stations de météorologie pour la mesure de la pluviosité.

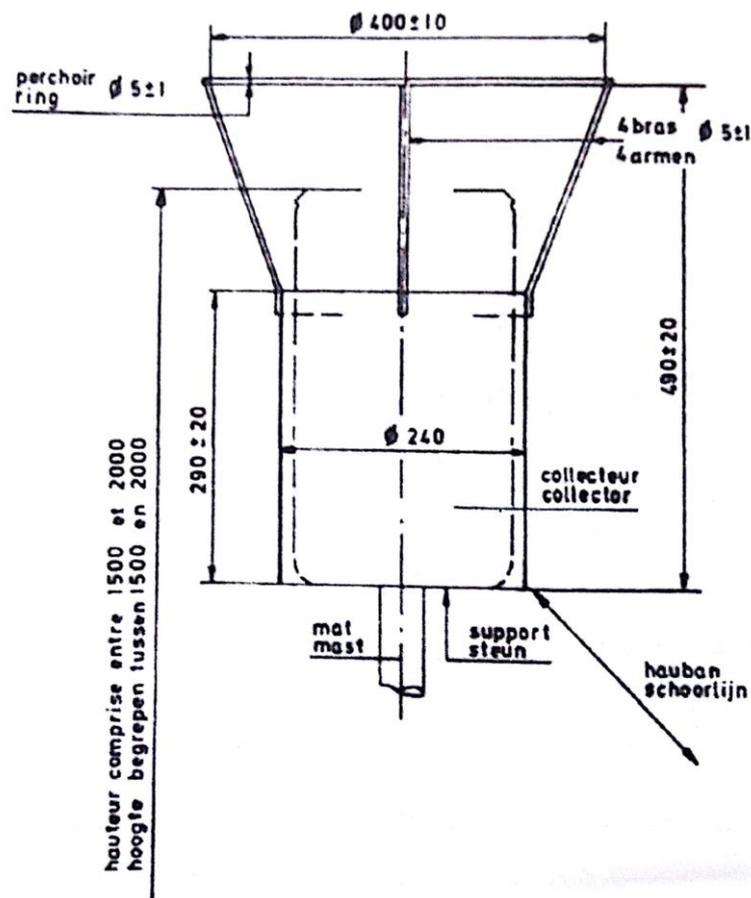


Figure 3. 3 : Schéma descriptif de la jauge de précipitation (modèle belge) (Hamrat, 2009)

- **Modèle Anglais :**

Il existe deux types de jauges : jauge à flux de particules vertical ou la surface réceptrice est horizontale, et jauge à flux horizontal ou la surface réceptrice est verticale.

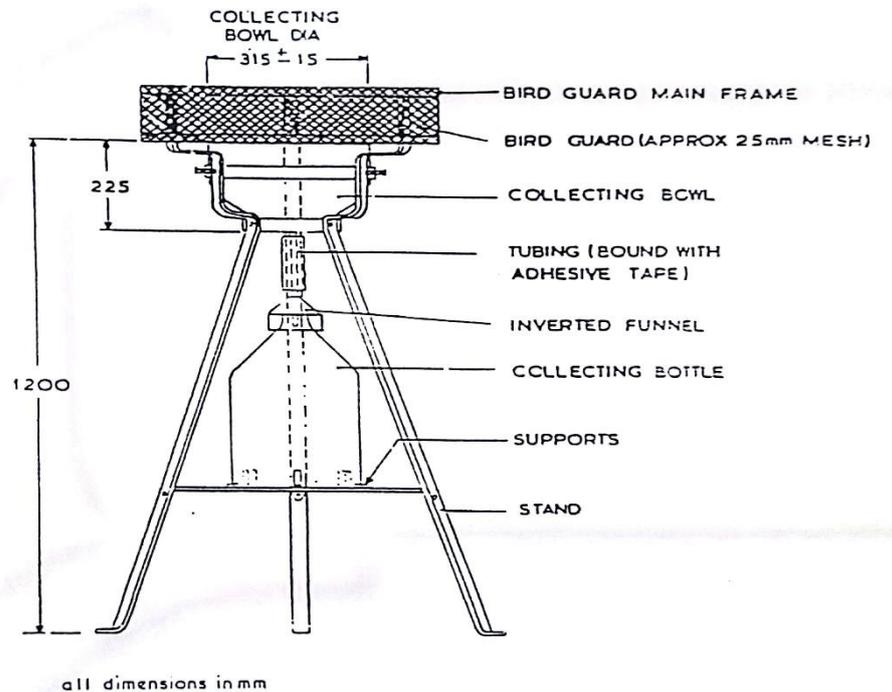


Figure 3. 4 : Schéma descriptif de la jauge à flux horizontal (Dj Hall,)

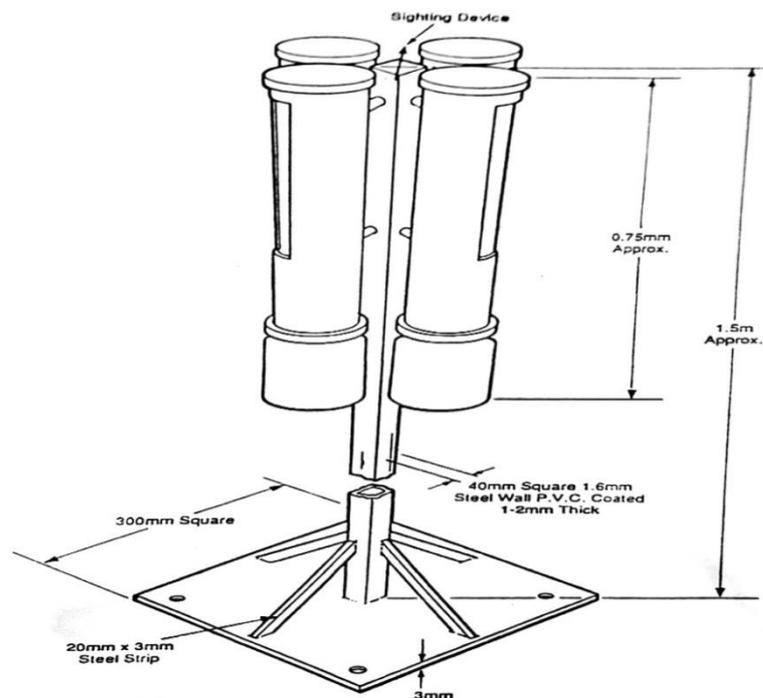


Figure 3. 5 : Schéma descriptif de la jauge à flux vertical (Dj Hall,)

3.3. Méthodes utilisées pour l'analyse du plomb :

3.3.1. Spectrométrie d'absorption atomique :

3.3.1.1. Principe :

L'absorption atomique est un processus qui se produit lorsqu'un atome appartenant à l'état fondamental passe à l'état excité par l'absorption d'une énergie, sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, qui correspond à une longueur d'onde spécifique. Le spectre d'absorption atomique d'un élément est constitué d'une série de raies de résonance, tous originaires de l'état électronique fondamentale et finissent dans différents états excités. En général, la raie de la transition entre l'état fondamental et le premier état excité définit la plus forte capacité d'absorption, et c'est la raie habituellement utilisée.

Les transitions entre l'état fondamental et l'état excité se produisent uniquement lorsque le rayonnement incident, provenant d'une source lumineuse, est exactement égale à la fréquence d'une transition spécifique. Une partie de l'énergie de la radiation incidente I_0 est absorbée. Le rayonnement émis est donné par I

$$I = I_0 e^{-\epsilon l} \quad (\text{eq. 3.1})$$

Où ϵ est le coefficient d'absorption de l'élément à analyser et l est la longueur du trajet horizontal du rayonnement à travers la chambre d'absorption (Pradyt, 2004).

L'absorption atomique est déterminée par la variation de la puissance rayonnante du faisceau incident en présence et en absence d'atomes analytes dans l'atomiseur. La largeur de la raie émise par la source lumineuse doit être plus petite que la largeur de la raie absorbée de l'analyte. La quantité d'énergie absorbée, à partir d'un faisceau de rayonnement pour la longueur d'onde d'une raie de résonance, augmentera avec l'augmentation du nombre d'atomes de l'élément sélectionné dans la chambre d'absorption. La relation entre la quantité de lumière absorbée et la concentration de l'analyte présent dans les standards peut être déterminée. On peut déterminer les concentrations des échantillons en comparant les quantités de rayonnement absorbé par ces derniers avec la quantité de radiation absorbée par les standards. La lecture de l'instrument peut être calibrée de façon à afficher les concentrations de l'échantillon directement (Bendada, 2011).

3.3.1.2. Appareillage :

Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique comportent quatre parties principales:

Le faisceau lumineux issu de la source (1) traverse la chambre d'absorption (flamme ou four) (2) dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état atomique, avant d'être focalisé sur la fente d'entrée d'un monochromateur (3) qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde. Le trajet optique se termine sur la fenêtre d'entrée du détecteur (4), illustré sur la figure 3.6 (Pradyt, 2004).

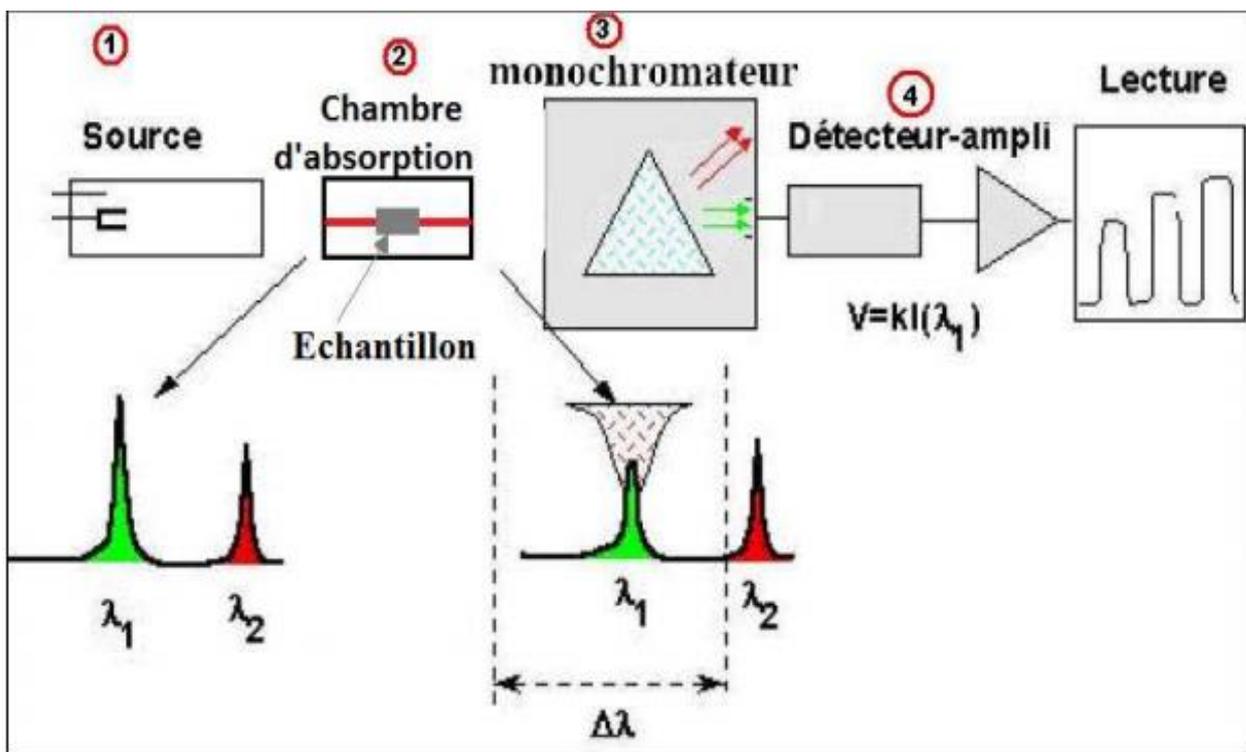


Figure 3. 6 : les instruments de base de la SAA (Pradyt, 2004)

3.3.1.3. Introduction des échantillons en solution :

En général, les échantillons destinés à une analyse par spectrométrie atomique sont pour la plupart dissouts en milieu aqueux et introduit dans l'atomiseur par un nébuliseur, celui-ci aspire l'échantillon liquide à travers un capillaire par un flux de gaz à haute pression qui s'écoule autour de l'extrémité du tube (effet Bernoulli). Ce mécanisme de transport du liquide est appelé aspiration. La vitesse très élevée du gaz provoque la rupture du liquide en fines gouttelettes de dimension variées, qui sont alors entraînées dans l'atomiseur (Skoog, 2003).

Tableau 3. 1 : Méthodes d'introduction de l'échantillon en spectroscopie atomique (Bendada, 2011)

<i>Méthode</i>	<i>Type d'échantillons</i>
<i>Nébulisation pneumatique</i>	Solution ou boue
<i>Nébulisation ultrasons</i>	Solution
<i>Vaporisation électrothermique</i>	Solide, liquide, solution
<i>Production d'hydrure</i>	Solution de certains éléments volatils
<i>Insertion directe</i>	Solide, poudre
<i>Ablation laser</i>	Solide métal
<i>Ablation par arc ou par étincelle</i>	Solide conducteur
<i>Erosion par décharge lumineuse</i>	Solide conducteur

3.3.1.4. Chambre d'absorption :

Les chambres d'absorption les plus utilisées en spectrométrie sont la flamme et le four graphite qui sont capables, à partir d'éléments présents en solution, de fournir des atomes libres en proportion suffisante pour utiliser la technique d'absorption.

Il existe également la méthode FIAS (Flow Injection Atomic Spectrometry) et FIAS Hydrures/Mercure dans certains cas particuliers.

3.3.1.4.1. Flamme (atomiseur) :

En SAA par flamme, les solutions d'échantillon sont généralement nébulisées grâce à un capillaire et un venturi dans une chambre de pulvérisation et l'aérosol produit est conduit, accompagné de la combustion résultant du mélange gaz et oxydant, dans un brûleur approprié.

Il faut noter que seulement 10 % de la solution se retrouvent dans la flamme et qu'après des phénomènes complexes de vaporisation, dissociation, recombinaison, on obtient une proportion plus ou moins forte d'atomes libres susceptibles d'absorber le rayonnement.

C'est pour cela que l'on est obligé de préparer des étalons ayant une composition (une matrice) aussi voisine que possible que celle des échantillons afin de maîtriser au mieux les phénomènes physico-chimiques (nébulisation, vaporisation, réactions chimiques) qui interviennent dans l'obtention des atomes libres à l'état fondamental (Bendada, 2011).

3.3.1.4.2. Atomiseur électrothermique (four graphite) :

Après insertion de l'échantillon sur une plate-forme montée dans l'atomiseur électrothermique, une séquence de chauffage est initiée, le tube est chauffé par effet Joule. Le procédé d'atomisation se déroule en trois étapes :

- Séchage où l'échantillon est chauffé pendant 20 à 30 s à 110 ° C afin d'évaporer les solvants ou des composant très volatile de la matrice ;

- La décomposition s'effectue à une température intermédiaire (souvent 500 ° C) pour la volatilisation des composants réfractaire de la matrice ainsi que la pyrolyse des composés organiques (les graisses et les huiles). La température de calcination ne doit pas être trop élevée ou maintenue trop longtemps, sinon il y a risque de perdre l'analyte ;

- Dans l'atomisation, la puissance maximale est appliquée pour monter la température du four aussi rapidement que possible à la température d'atomisation sélectionnée. Le résidu analyte se volatilise et se dissocie en atomes libres qui absorbent la lumière de la source SAA. Le signal d'absorption transitoire doit être mesuré rapidement.

L'atomiseur électrothermique offre plusieurs caractéristiques intéressantes par rapport à la flamme :

- Une faible quantité d'analyte de l'ordre de (10^{-6} à 10^{-8} g) est nécessaire ;
- Les phases solides peuvent être analysées directement, très souvent, sans prétraitement ;
- Le niveau de bruit de fond est très bas ;
- Augmentation de la sensibilité car la production d'atomes analytes libres est plus importante que dans la flamme (*Pradyt, 2004*).

3.3.1.5. Monochromateurs :

Le monochromateur, placé entre l'atomiseur et le détecteur sert à éliminer toutes les raies lumineuses dont les longueurs d'ondes ne correspondent pas à celle de l'élément. On utilise les monochromateurs à prisme et les monochromateurs à réseau (*Traore, 2007*).

3.3.1.6. Détecteur :

Le détecteur de rayonnement transforme l'énergie lumineuse en un signal utilisable (en général électrique) Il est couplé à un dispositif de traitement du signal, complété par un système permettant l'affichage du résultat sur un écran, un oscillographe ou un enregistreur (*Traore, 2007*).

3.3.1.7. Perturbations :

Un certain nombre de phénomènes peuvent entacher des erreurs sur les résultats obtenus, on leur a donné le nom général de perturbations (ou interférences ou interactions). Les perturbations proviennent de plusieurs origines, on peut les classer en perturbations spectrales, physiques et chimiques. Ces perturbations sont corrigées par l'utilisation de lampe à deutérium, ou par l'application de l'effet Zeeman (interférences spectrales) ou par l'utilisation de tampons spectrométriques, tels que les agents complexant (l'acide éthylène diamine tétracétique et ses sels) ou les agents précipitants comme le lanthane (interférences chimiques) (*Traore, 2007*).

3.3.1.8. Applications :

Le tableau 3.2 donne pour les éléments les plus courants, les longueurs d'onde de raies exploitées en analyse.

Parmi toutes les techniques de spectroscopie atomique, l'absorption atomique est la plus utilisée à cause de sa simplicité.

L'absorption trouve son intérêt dans sa spécificité puisqu'il existe très peu d'exemples de raies de fréquences exactement identiques, émises par deux éléments différents. Cette qualité évite d'avoir à réaliser une séparation préalable de l'élément à doser. Seul le magnésium et le sodium présentent la même raie de résonance à 285nm. Mais aussi sa sensibilité relativement élevée et sa limite de détection permettent d'atteindre selon le mode de vaporisation des concentrations de l'ordre de la ppm voire de la ppb (*Traoré, 2007*).

Tableau 3.2 : Longueurs d'onde des raies usuelles des principaux éléments (Traoré, 2007)

<i>Elément</i>	<i>Longueur d'onde d'absorption (nm)</i>
<i>Calcium</i>	422.67
<i>Cadmium</i>	228.80
<i>Chrome</i>	357.90
<i>Cobalt</i>	353.00
<i>Cuivre</i>	324.70
<i>Fer</i>	371.99
<i>Magnésium</i>	285.21
<i>Mercure</i>	253.70
<i>Nickel</i>	352.00
<i>Platine</i>	265.90
<i>Plomb</i>	283.30
<i>Sodium</i>	285.29
<i>Zinc</i>	213.80

3.3.2. Microscope Electronique à Balayage (MEB) :

La Microscopie Electronique à Balayage est fondée sur les interactions électrons-matière. Elle permet l'obtention d'images de hautes résolutions de la surface de l'échantillon avec des profondeurs de champs supérieures à la microscopie optique.

3.3.2.1. Principe :

Les principaux éléments composant un Microscope Electronique à Balayage sont : une source d'électrons (canon) et un dispositif de haute tension, une colonne maintenue sous un vide secondaire, un ensemble de lentilles électroniques permettant l'obtention d'un fin faisceau, une platine permettant d'installer les échantillons, un détecteur d'électrons couplé à un amplificateur de signal et enfin un système de visualisation des images. Le fonctionnement du MEB est présenté dans la Figure 3.7 ci-dessous.

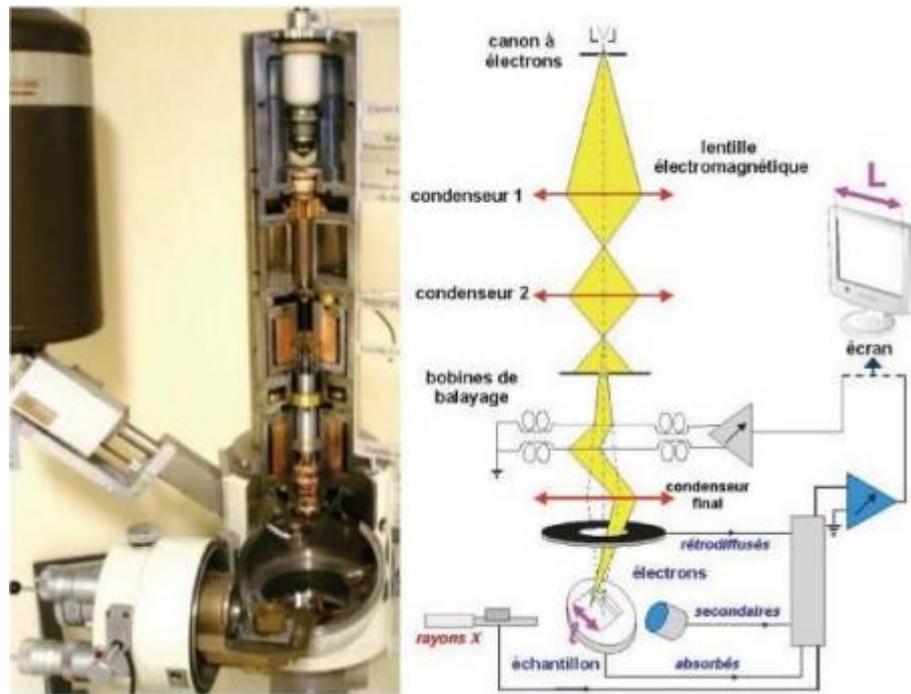


Figure 3. 7 : Photo de la coupe d'un MEB et schéma de fonctionnement associé (Marteau, 2013)

Deux principes sont utilisés pour extraire les électrons : l'émission thermoïonique et l'émission par effet /de champ. La première correspond à la technologie utilisée dans les microscopes à balayage traditionnels : la source des électrons est un filament de tungstène ou d'hexaborure de Lanthane (LaB6), chauffé par effet Joule. L'émission par effet de champ correspond à la technologie utilisée dans un MEB-FEG (acronyme anglais de Field Emission Gun). Dans ce dernier cas, il y a utilisation d'une cathode métallique très pointue. L'application d'une tension entre cette cathode et l'anode permet d'obtenir un champ électrique très intense grâce à un effet de pointe. Cette différence de technologie présente trois principaux avantages. Le MEB-FEG possède une plus grande stabilité lors de l'observation et une meilleure brillance (efficacité d'une source électronique). Sa source d'électrons a une durée de vie plus importante que celle du MEB (Marteau, 2013).

Chapitre 4 : Méthodes expérimentales

Dans ce chapitre, on s'intéresse au réseau d'étude, au parc automobile de la ville, aux méthodes de prélèvements et aux analyses préliminaires.

4.1. Réseau de mesure :

Le domaine d'étude retenu pour ce mémoire est celui de l'espace urbain de la ville de Khémis-Miliana. Trois (3) sites d'échantillonnages ont été choisis en fonction de la concentration du trafic routier et de la fréquentation des lieux par la population. Ces sites, qui sont la Résidence Universitaire de Boutane, la Faculté des Langues (équipement scolaire) et Institut National de Formation et de Santé Publique INFSP ou encore Ecole paramédicale (Equipement de santé), forment un triangle autour de la Route Nationale 04 (RN04).

La RN 04, qui coupe la ville en deux (2) parties, est l'axe principal traversant la ville de Khémis du Nord/Est vers l'Ouest passant par le centre-ville et qui assure la liaison entre l'Est et l'Ouest de l'Algérie.

Les sites sont des bâtiments de surface ouverte, bien exposé à l'air libre plus haut que les bâtiments proches. Ils sont aussi éloignés de toute végétation et tous travaux de construction.

4.2. Parc automobile de Khemis Miliana :

La ville de Khemis Miliana abrite en 2014 une population estimée à 92181 habitants, soit 10,89% de la population totale de la wilaya. Le poids démographique de la ville est davantage renforcé lorsqu'on tient compte des populations des villes limitrophes à savoir Sidi Lakhdar, Miliana, Ain Soltane, Djelida et Ain Defla.

En termes d'activités économiques, la ville de Khemis Miliana est d'abord un carrefour de l'ensemble des daïras de la wilaya. C'est ensuite le lieu d'implantation d'un pôle commercial, d'un pôle universitaire, d'une zone d'activité et de nombreux commerces et services en tout genre.

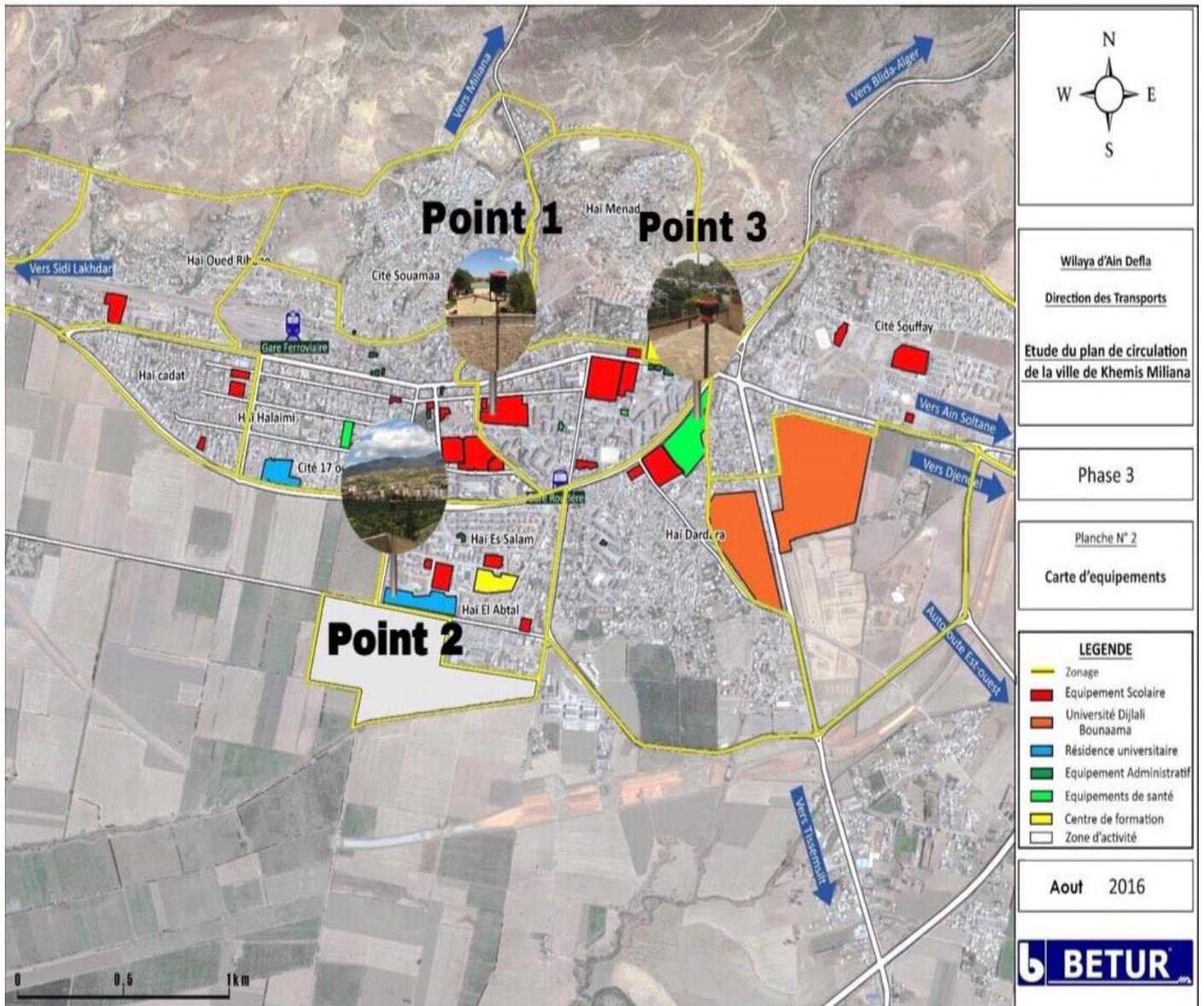


Figure 4. 1 : Répartition des infrastructures équipement publics et emplacement de nos points

Ainsi environ **88 126 véhicules** circulent dans la ville de Khemis Miliana par jour dont **14 888 véhicules** de différents types (poids lourd, poids léger) au niveau de la Route Nationale 04 vers l'école paramédicale, soit **16.89 %** de la circulation totale journalière. (DTW,2016)

Ce nombre de véhicules consomme cinq différents types de carburant (gasoil, super, essence, essence sans plomb et sirghaz) dont le gasoil est le plus utilisé avec des quantités dépassants 5000 L par jour du fait de la nature agricole de la région qui nécessite l'utilisation de ce carburant comme source d'énergie (tracteur, groupe électrogène...).

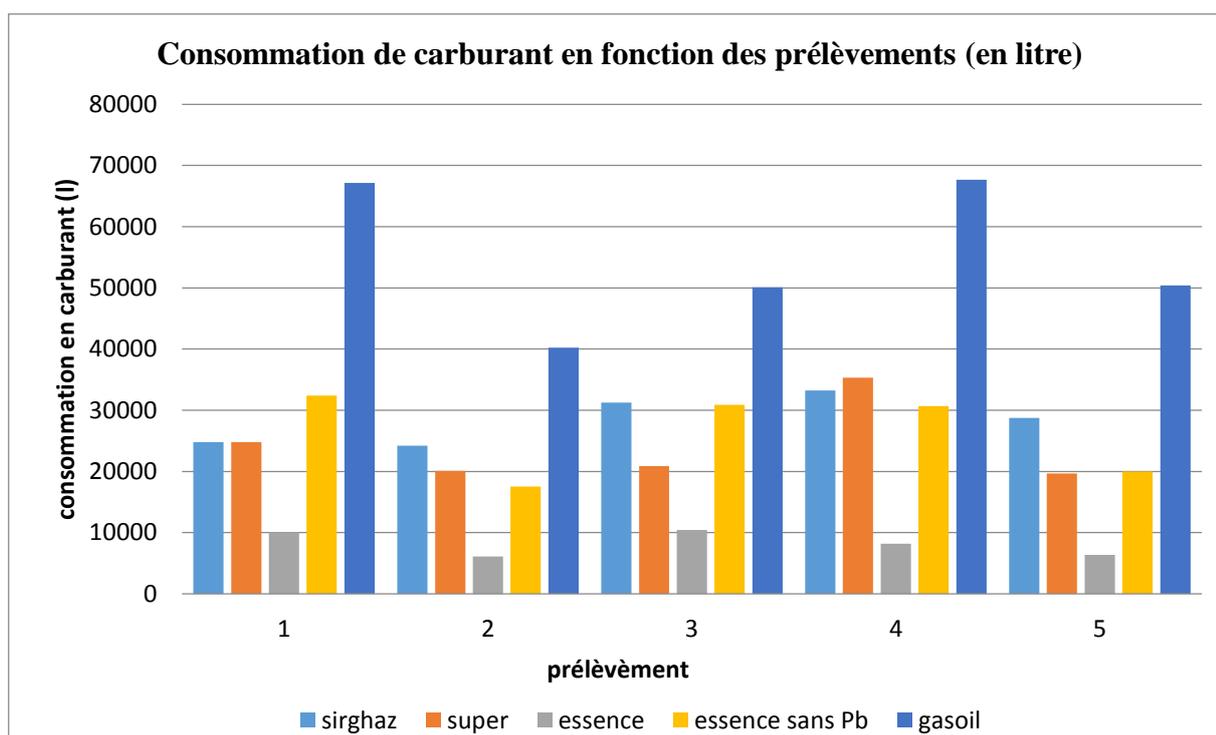


Figure 4. 1 : Consommation de carburant en fonction des prélèvements (en litre) (Naftal, 2018)

4.3. Méthode de prélèvements du plomb :

Les particules sédimentées sont mesurées suivant le protocole détaillé par la norme Afnor NF X 43-007 de décembre 2008 (qui remplace celle de décembre 1973) relative à la détermination de la masse des retombées atmosphériques. Le protocole d'échantillonnage et de prélèvement repose sur un système de jauges dispersées sur une zone d'étude, jauge dans lesquelles les poussières se déposent (AIRFOBEP, 2010).

4.3.1. Type de jauges utilisées : Modèle Belge

C'est le modèle belge, il est composé d'un récipient cylindrique en polyéthylène à haute densité (HDPE) matériau adéquat car ne réagit pas avec les particules recueillies, placé sur un support métallique de 1.5 à 2.00 m de hauteur fixé au sol par quatre pieds métalliques.

4.3.1.1. Préparation des jauges :

En ce qui concerne la préparation des jauges précédant leur mise en place, les récipients sont remplis d'eau distillée (3/4 du volume total du récipient) une fois sur place pour éviter tous dépôts de particules hors du site de prélèvement. Pour recueillir les particules, les récipients sont nettoyés à l'eau distillée et bien fixés au support (récipient + support) pour éviter tout déplacement dû aux intempéries et aux différentes manipulations.

4.3.1.2. Disposition des jauges :

Concernant la mise en place des jauges, il faut éviter de les placer contre un obstacle pouvant nuire au dépôt des poussières, et dans la mesure du possible respecter la condition suivante : être au minimum à une distance deux fois supérieure à la hauteur de l'obstacle.

4.3.2. Durée d'exposition :

La durée d'exposition des jauges entre les prélèvements est très variable suivant certaines contraintes tels que : les contraintes administratives, les paramètres météorologiques (forte pluie, vents fort...). Cette durée était comprise entre un minimum de 2 jours et maximum de 7 jours. Le tableau suivant résume l'ensemble des dates des prélèvements ainsi que la durée d'exposition de chaque échantillon.

Tableau 4. 1 : Dates de prélèvements et expositions des échantillons

Point	Fac. Langue	Ecole Par.	R. Universitaire
Installation	11/03/2018	15/03/2018	11/03/2018
Prélèvement 1	17/03/2018 (6 jours)	17/03/2018 (2 jours)	17/03/2018 (6 jours)
Prélèvement 2	24/03/2018 (7 jours)	22/03/2018 (5 jours)	22/03/2018 (5 jours)
Prélèvement 3	28/03/2018(4 jours)	28/03/2018 (6 jours)	28/03/2018 (6 jours)
Prélèvement 4	03/04/2018(6 jours)	03/04/2018 (6 jours)	03/04/2018 (6 jours)
Prélèvement 5	09/04/2018(6 jours)	09/04/2018 (6 jours)	09/04/2018 (6 jours)

4.3.3. Prélèvement et échantillonnage:

Les prélèvements sont effectués dans des flacons en verre préalablement nettoyé à l'eau distillée trois fois. Le contenu des jauges est transvasé dans les flacons et classé par point et par prélèvement. Pendant le prélèvement s'équiper d'une blouse de gant pour éviter toute contamination des échantillons et s'assurer que toutes les particules sédimentées dans la jauge soient bien transférées et ceux à l'aide d'un pinceau. Les échantillons sont ensuite hermétiquement fermés et emballés dans du papier aluminium pour éviter toute réaction due à la lumière (réaction photochimique). Les mêmes opérations sont réalisées pour recueillir les eaux de pluies (dépôt humide) en s'assurant de bien récolter pendant toute la durée des précipitations.



Figure 4. 2 : Prélèvement et conservation des échantillons

4.4. Paramètres météorologiques :

Avant d'aborder les résultats issus de l'analyse des dépôts obtenus, nous allons dans un premier temps nous intéresser aux phénomènes météorologiques qui se sont produits sur la zone d'étude durant la période d'exposition des jauges, c'est-à-dire du 11 mars 2018 au 9 avril 2018. Plusieurs paramètres sont observés :

- **Vent** : Concernant le vent, ce sont la direction, la vitesse et la fréquence qui sont mesurées. C'est un paramètre très important lors des phénomènes de ré-suspension et de

transport des particules polluantes dans l'atmosphère, ses chiffres sont obtenues dans notre travail grâce au logiciel : <https://fr.windfinder.com> donnant toutes ces informations en temps réels. La rose des vents ci-dessous est établie à l'aide du logiciel **WRPLOT View 8.0.1**, elle nous renseigne sur la tendance des vents au cours de la période d'étude ;

- **Précipitations** : il s'agit d'évaluer leur quantité et de distinguer les différentes intensités des événements car importante voie de dépôt humide. Les valeurs sont obtenues à partir du logiciel <https://fr.windfinder.com> et de <https://weather.com> et données dans le graphe en chapitre 5: résultats et interprétations ;

- **Température et Humidité relative** : les valeurs de ces deux paramètres sont obtenues à partir de <https://fr.windfinder.com> et de <https://weather.com> et données en chapitre 5: résultat et interprétation.

Tous ces paramètres (vent, précipitations, autres) ont une influence sur la dispersion des poussières sédimentées et sur leurs retombées. De plus, des phénomènes non induits par la météorologie ont été noté pendant la durée d'exposition, et qui seront pris en compte lors de l'interprétation des résultats.

4.5. Analyses préliminaires :

Certains paramètres physico-chimiques ont été préalablement déterminés pendant notre étude car ayant des corrélations avec le comportement physico-chimique du polluant étudié. Ces paramètres sont : le potentiel hydrogène (pH) et la conductivité (Cond) des différents échantillons.

- Le pH (pH-mètre) permet de déterminer le caractère acide (**pH < 7**), le caractère basique (**pH > 7**) ou le caractère neutre (**pH = 7**) des échantillons à une température bien déterminée ;

- La Conductivité (Conductimètre) n'est autre que la capacité des échantillons à conduire l'électricité caractérisant la présence de composés sous forme ionique.

4.6. Filtration des échantillons :

Le type de filtration appliqué dans notre travail est une filtration sous vide à l'aide d'une pompe et est effectuée comme suit :

- Un papier filtre vierge est placé au sommet d'un erlenmeyer sur un support perméable ;
- Le récipient de verre est fixé sur le support, on y verse l'échantillon à filtrer ;
- La pompe est ensuite utilisée pour faciliter et accélérer le passage de l'échantillon à travers le filtre et aussi pour éviter un colmatage de ce dernier: le filtrat (partie soluble + eau

distillée) coule dans l'erenmeyer tandis que les particules solides (gâteaux) sont retenues par le filtre.

- Une deuxième filtration est effectuée suivant le même protocole pour collecter les particules ayant une taille supérieure ou égale à $0.45\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{0.45}$)



Figure 4. 3 : Dispositif de la filtration sous vide

4.7. Evolution de la masse des dépôts :

- **Partie insoluble :**

Pour évaluer la masse des particules sédimentées, le protocole est le suivant:

- Pesée des filtres à blanc préalablement séchés à l'étuve (avant filtration) ;
- Pesée des filtres chargés (après filtration et séchage).

Le séchage se fait à l'étuve pendant 1h à 105°C pour ôter toute trace de liquide dans les dépôts contenus dans les filtres qui seront ensuite refroidis dans un dessiccateur dans 2h.

La masse de la partie insoluble est obtenue par la formule suivante :

$$m_{\text{insoluble}} = m_{f.\text{chargé}} - m_{f.\text{blanc}} \quad (\text{eq. 4.1})$$

- **Partie soluble :**

Pour la masse de la partie soluble, il faut :

- Peser un récipient vide préalablement séché (étuve à 105°C pendant 1h) et refroidi dans un dessiccateur 2h;
- Mettre le filtrat dans le récipient et réduire son volume sur une plaque à une température inférieure à celle de l'ébullition de l'eau;
- On continue le séchage dans une étuve jusqu'à évaporation totale de l'eau, puis on le refroidi dans un dessiccateur pendant 2h ;
- Peser le récipient après séchage total du filtrat.

La masse de la partie soluble est obtenue par la formule suivante :

$$m_{soluble} = m_{recipient\ plein} - m_{recipient\ vide} \quad (\text{eq. 4.2})$$

- ❖ **Méthode de calcul des dépôts :**

Les différentes masses de dépôt dans les échantillons sont obtenues à partir des formules suivantes :

- **Dépôt total :** Dépôt soluble + Dépôt insoluble
- **Dépôt sec :** Dépôt total – dépôt humide
- **Dépôt séjour :** \sum dépôts totaux pour chaque point
- **Dépôt journalier :** Dépôt séjour / Nombre de jour
- **Dépôt annuel :** Dépôt journalier * 365 jours

Rayon du récipient de la jauge (R) = 19.5 cm = 0.196 m

Surface récipient : $\pi \cdot R^2 = \pi \cdot 0.196^2 = 0.12 \text{ m}^2$

-Masse des dépôts en g/m² : Masse (g/0.12m²) → 0.12 m²

$$\text{Masse (g/m}^2\text{)} \cdot 0.12 \rightarrow 1 \text{ m}^2$$

Masse (g/m²) = (Masse en (g/0.12m²) * 1m²)/0.12m²

Les masses ainsi obtenues sont mentionnées dans le chapitre 5 : résultats et interprétations.

4.8. Digestion acide :

La digestion des échantillons se fait dans un bêcher par ajout d'acides ($\text{HNO}_3 + \text{HCl}$). Les solutions obtenues sont ensuite chauffées sous une température contrôlée sur une plaque chauffante, pour la détermination des traces de plomb contenues dans les échantillons.

4.8.1. Instrumentation et matériel :

Les matériels utilisés pour cette étape sont :

- Une plaque chauffante ;
- Une fiole de 100 ml ;
- Une fiole de 50 ml ;
- Un bêcher de 200 ml ;
- Une pipette de 5ml ;
- Papier filtre.

4.8.2. Réactifs et volumes d'échantillons utilisés :

- EAU REGALE = 3 Volumes d' HNO_3 + 1 Volume d' HCL
- 5 ml de l'eau régale +100 ml d'échantillons pour chaque digestion.

4.8.3. Protocole de digestion :

La digestion se fait comme suit :

- On met l'échantillon dans un bêcher ;
- On ajoute une proportion en volume de 5 ml de l'eau régale pour chaque 0.5g d'échantillon ;
- Le bêcher est ensuite placé sur une plaque chauffante réglée à une température bien déterminée (température du mélange) ;
- Le mélange est chauffé pendant 2 heures;
- On dilue l'échantillon jusqu'à 100 ml après le chauffage.

Après refroidissement les échantillons sont filtrés (microfiltration) dans des fioles jaugées de 100 ml, préparées au préalable (nettoyage aux acides), puis on récolte le filtrat qui sera plus tard utilisé pour une analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique SAA (SAA 240Fs/Flamme).

4.8.4. Préparation du blanc :

Un blanc d'analyse est préparé avec les mêmes étapes et dans les mêmes conditions que l'échantillon, on met 100 ml d'eau ultra pure avec 5 ml de l'eau régale.

4.8.5. Stockage d'échantillon minéralisé et le blanc :

Les fioles sont ensuite conservées dans un réfrigérateur à 4 °C pour éviter toute perte et contamination jusqu'au moment d'analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique.

4.8.6. Solutions étalons :

L'étalonnage consiste à préparer, à partir d'une substance pure ou bien d'une solution commerciale, une gamme d'étalonnage qui va couvrir la plage de travail. C'est dans ce cadre que cinq solutions étalons ont été préparées

Tableau 4. 2: Concentration étalons en fonction de l'absorbance

<i>Standard</i>	<i>Concentration (mg/l)</i>	<i>Absorbance</i>
<i>Pb Standard 1</i>	2.000	0.0637
<i>Pb Standard 2</i>	4.000	0.1197
<i>Pb Standard 3</i>	6.000	0.1667
<i>Pb Standard 4</i>	8.000	0.2180
<i>Pb Standard 5</i>	10.000	0.2652

4.8.7. Protocole d'analyse SAA :

L'analyse est faite avec un **spectromètre Varian 50AA** avec atomisation par flamme. Dans son principe, la spectrométrie SAA consiste à **vaporiser l'échantillon** liquide et à le chauffer à l'aide d'une flamme.

La flamme est dirigée vers une lumière émise par une lampe appropriée émettant les longueurs d'onde caractéristiques de l'élément recherché. En traversant la flamme, les ondes lumineuses dont les longueurs d'onde correspondent à l'élément dosé sont absorbées par les ions excités présents dans la flamme.

L'absorption est mesurée à l'aide d'un prisme dispersif et d'une cellule photoélectrique : elle est directement proportionnelle à la concentration de l'élément. Lorsque les atomes d'un élément ont été excités, leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission de lumière d'une fréquence F bien définie et propre à cet élément. Le même élément dispersé dans une flamme possède la propriété d'absorber tout rayonnement de même fréquence F . Il en résulte une absorption du rayonnement incident lié à la concentration de l'élément considéré. La limite de détection est de l'ordre de ppm.

Les résultats obtenus dans après l'analyse mg/l sont ensuite convertit en mg/g et $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$ pour comparaison avec des valeurs classiques de concentration obtenues antérieurement par d'autres chercheurs.

Chapitre 5 : Résultats et Interprétations

L'étude expérimentale réalisée sur les différents échantillons prélevés représentant les trois (3) sites sélectionnés pour ce travail sont donnés dans ce chapitre sous formes graphiques ou de tableaux.

5.1. Paramètres météorologiques :

5.1.1. Vents :

La rose des vents ci-après (Figure 5.1) résume les données de vent. En plus des directions des vents et de leurs intensités ou vitesses (représentés par les couleurs comme l'indique la légende en bas à droite), cette rose nous donne aussi des informations sur les fréquences des différentes vitesses du vent (en pourcentage %), le temps total des observations (233 heures) et aussi la vitesse moyenne des vents observés (7.59 nœuds ou 3.9 m/s). Si nous établissons une étude générale sur la période étudiée qui s'étale du 11/03/2018 au 09/04/2018, nous constatons un modèle local avec des vents dominants venant des secteurs de l'ouest près de 83% du temps (Nord-Ouest à 11%, Ouest à 44%, Sud-ouest à 27%) avec des pointes de vitesses pouvant dépasser 21 nœud (soit $> 11\text{m/s}$), tout en caractérisant les conditions météorologiques dépressives des périodes pluvieuses (les vents proviennent de l'ouest pendant les périodes dépressives ou froides et proviennent de l'Est lors des conditions anticyclones ou chaudes).

Des vents un peu moins prononcés pour ceux venant du Sud-ouest (S-W) (28% du temps) soufflent aussi avec des pointes supérieures à 8.3 m/s. Les vents du Nord-Ouest (N-W) présentent quelques rafales à plus de 9 m/s (17knots), et ceux dont la direction est Nord-Est, Sud, Sud-Est restent dans l'ensemble inférieurs à 4 m/s.

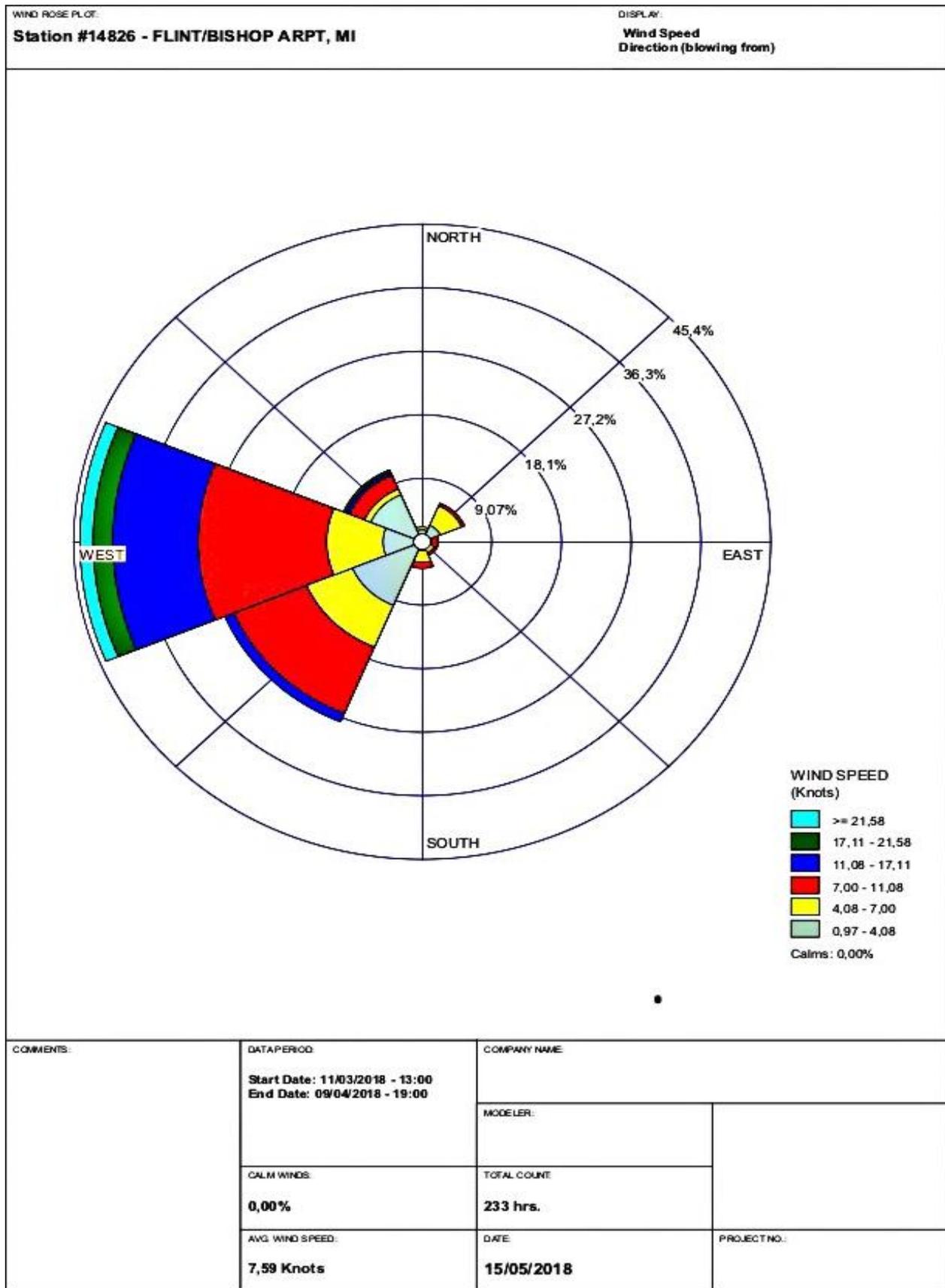


Figure 5. 1 : Rose des Vents

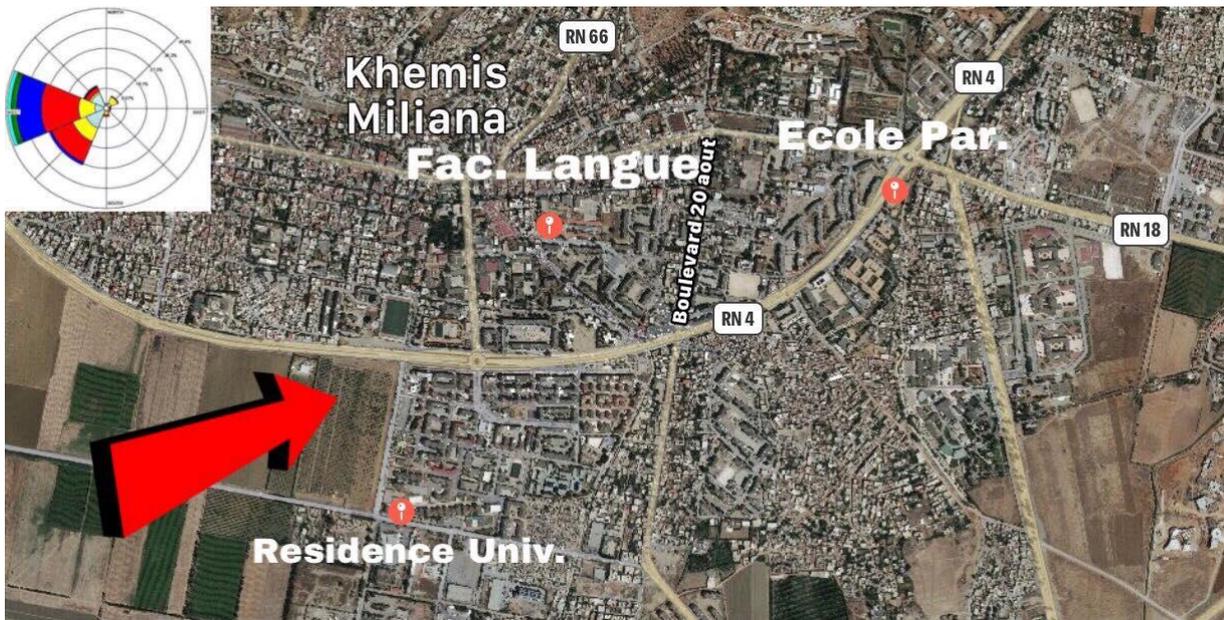


Figure 5. 2 : Direction des vents dominants durant la période d'étude

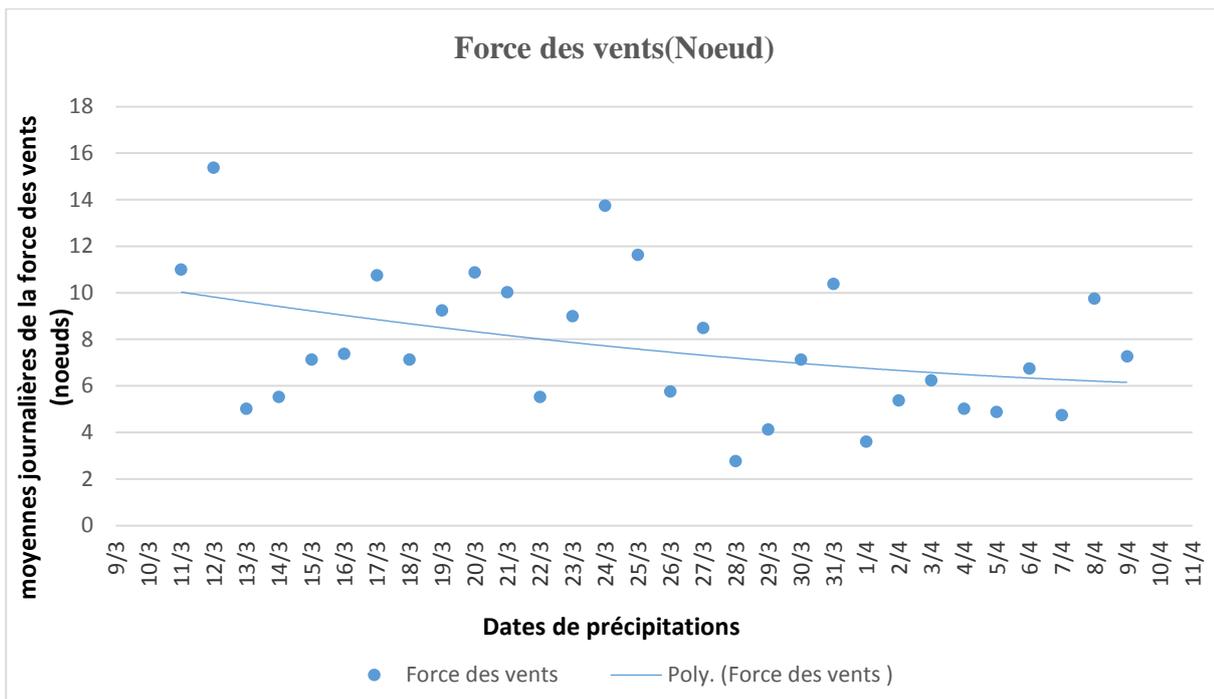


Figure 5. 3 : Evolution de la force des vents durant la période d'étude

Tendance force des vents :

Cette courbe de tendance nous montre une baisse de la vitesse des vents au cours de l'étude du fait du changement progressif de sa direction de provenance vers des directions ayant des moyennes de vent moins prononcées (Nord-Ouest, Nord-Est, Sud, Sud-Est...) à cause de la transition entre la saison hivernale et la saison printanière.

5.1.2. Humidité et la température :

La figure ci-après résume l'évolution de la température et de l'humidité pendant la durée de prélèvement :

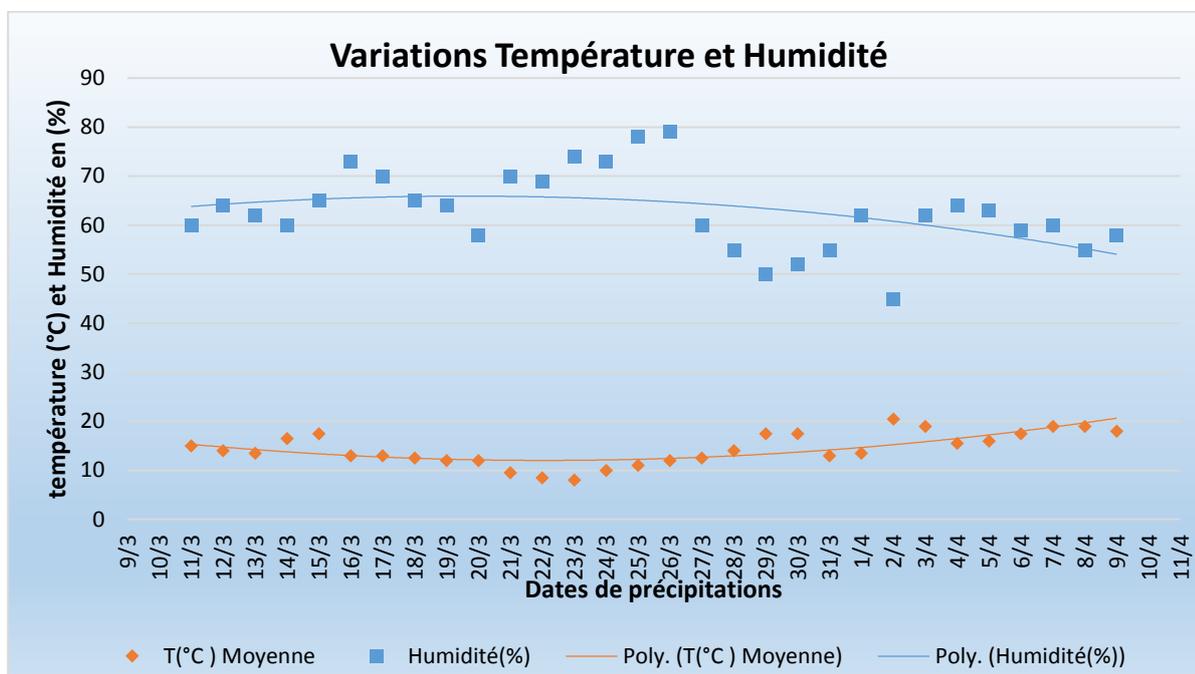


Figure 5.4 : Variations de la température et de l'humidité

Nous remarquons des variations de température moyenne journalière allant de 8°C minimum à un maximum de 20,5 °C pendant la durée de l'étude du fait de la transition entre l'hiver et le printemps. Les valeurs d'humidité obtenues pendant l'étude montrent le rapport de proportionnalité inverse avec les températures mesurées (plus la température augmente ou diminue plus l'humidité varie en sens inverse). Ces paramètres météorologiques sont directement en fonction des conditions climatiques (Climat semi-aride) et de la situation géographique de la zone (absence de grandes surfaces aquatiques).

5.1.3. Précipitation :

Sur toute la durée de l'étude (du 11 mars 2018 au 09 avril 2018), les précipitations ont été évaluées à 49 mm (1mm de précipitation vaut 1litre/m²). Deux grandes précipitations se démarquent : une première, entre le 21 et le 22/03/2018 avec des précipitations atteignant 11 mm, et une seconde, le 25/03/2018, avec des précipitations de 27 mm (Voir Histogramme Ci-dessous).

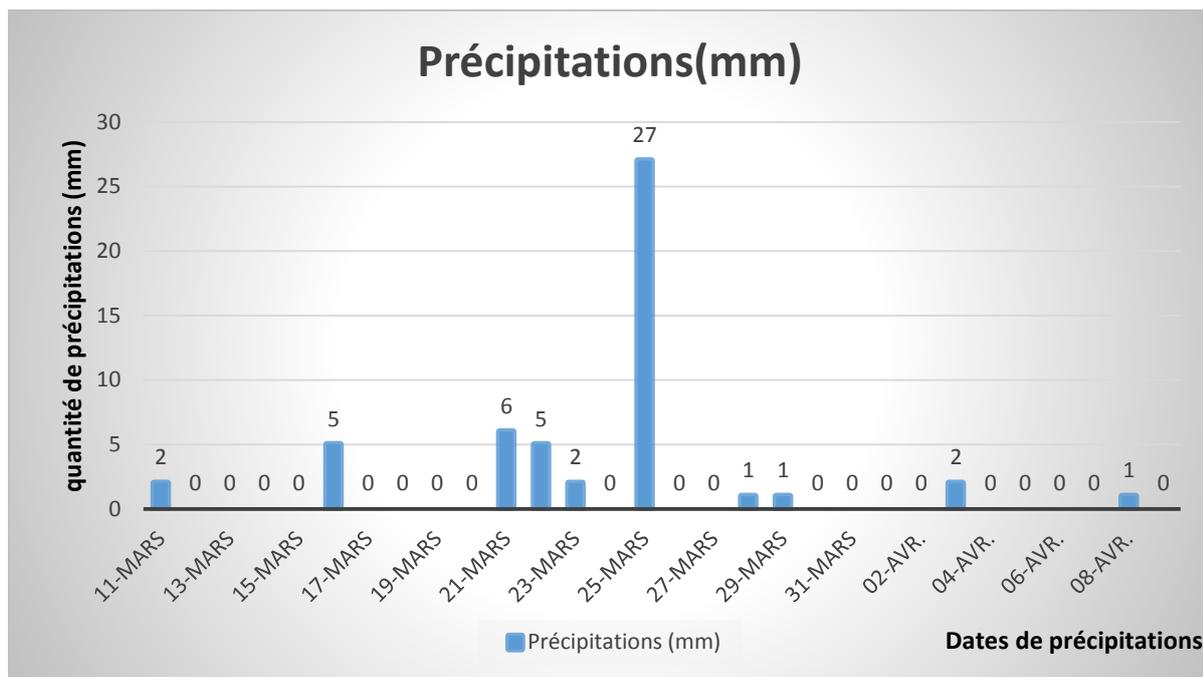


Figure 5. 5 : Evolution des précipitations

5.2. Evolution de la masse des dépôts :

Les images suivantes montrent des dépôts obtenus à la suite des filtrations :

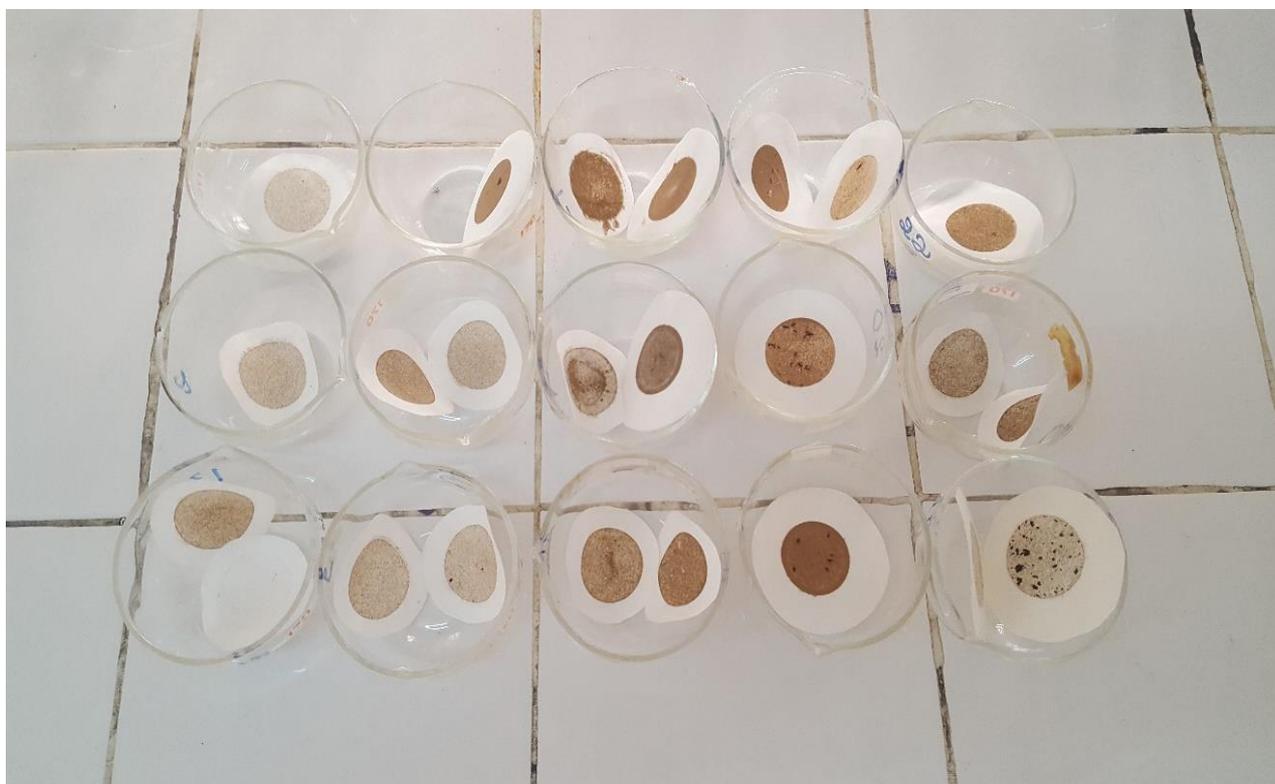


Figure 5. 6: Dépôt insoluble



Figure 5. 7: Dépôt humide (flacon : partie soluble, creusé : partie insoluble)

5.2.1 Dépôt humide :

5.2.1.1. Conductivité :

Les histogrammes ci-après nous montrent l'évolution des valeurs de la conductivité et du pH avant et après les filtrations.

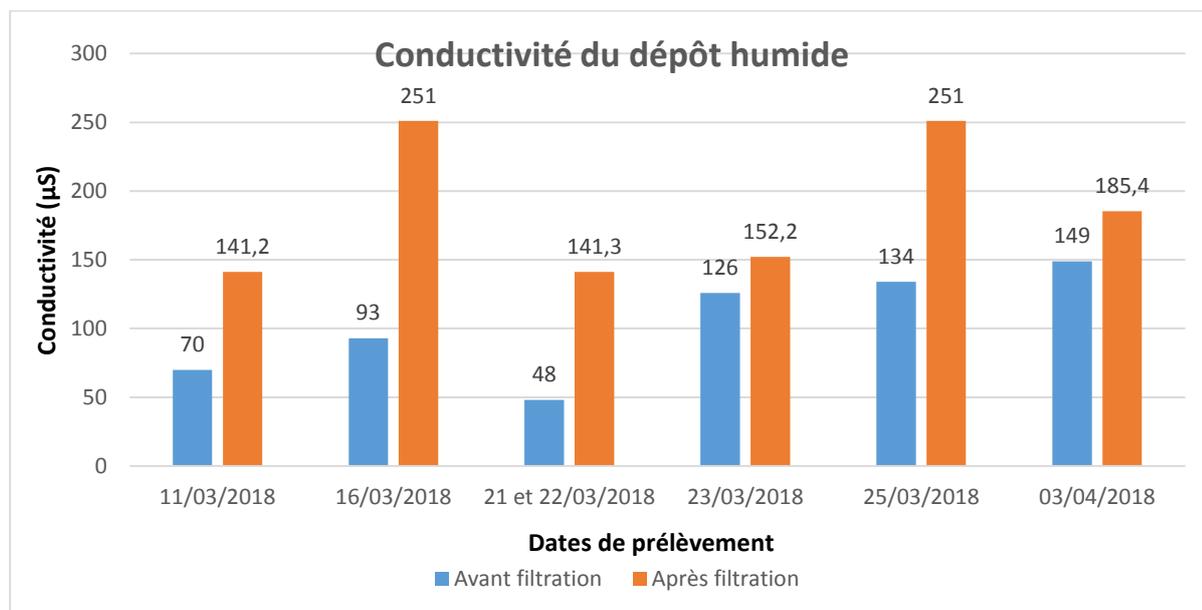


Figure5. 8: Conductivité du dépôt humide

D'après ces résultats nous remarquons dans tous les échantillons de pluies une augmentation de conductivité après filtration cette augmentation est due à la présence de matières solubles sous forme ionique (bon conducteur) dans les échantillons et des matières insolubles moins conductibles. Les valeurs de conductivité avant filtration varient entre 48 et 149 μ S dont les pluies les plus chargées sont celles du 03/04/2018. Quant à la conductivité après filtration, ces valeurs varient entre 126 et 251 μ S ce qui montre la charge du dépôt humide en espèces ioniques (la valeur maximale est enregistrée le 16 et 25/04/2018). Ces valeurs ne sont pas fonction de la quantité des précipitations.

5.2.1.2. Potentiel hydrogène :

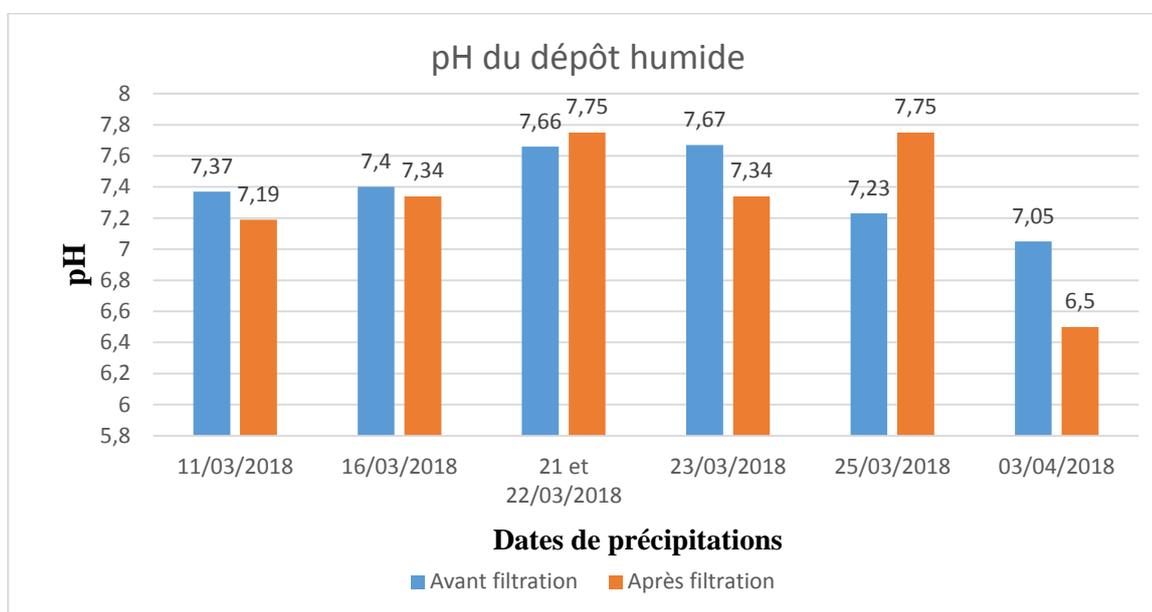


Figure5. 9: pH du dépôt humide

De ces résultats, on constate une instabilité du pH des eaux de pluie obligeant à des mesures très rapides d'échantillons récoltés, les valeurs varient d'un maximum de 7.75 à un minimum de 6.5 et se situent autour de la neutralité d'où de cette étude nous pouvons signaler l'absence de pluies acides sans pour autant insister sur l'interprétation des valeurs car ne suivent aucune logique fixe et varient très vite en fonction de certains paramètres tel que la composition des précipitations et des conditions d'émission.

5.2.1.3. Masse du dépôt humide (soluble et insoluble) :

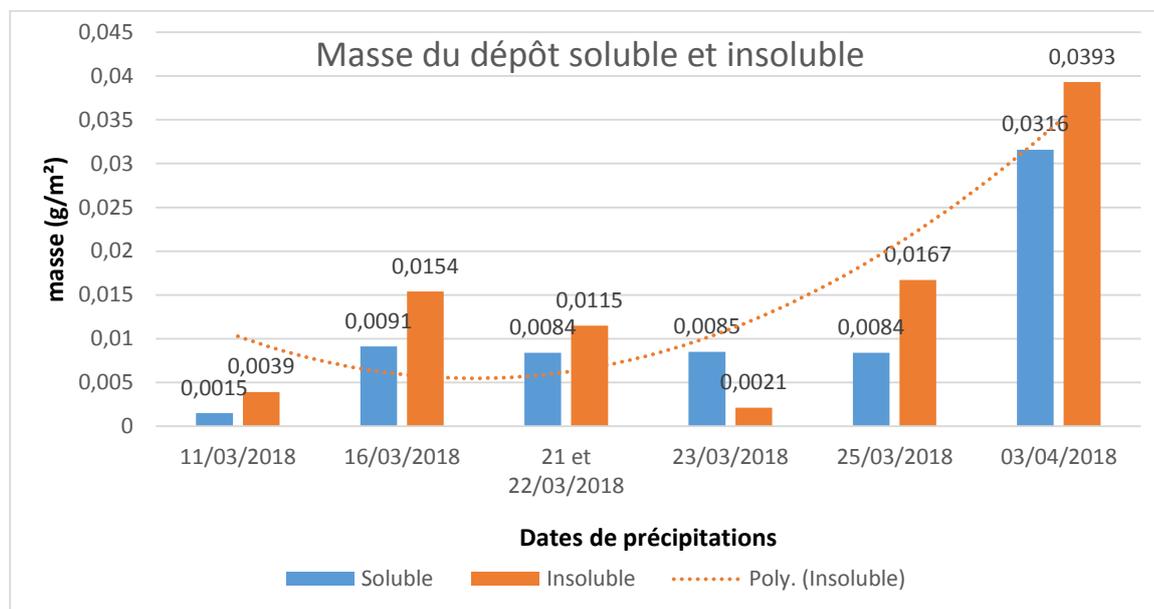


Figure5. 10: Masse de la fraction soluble et insoluble du dépôt humide

Cet histogramme nous montre des variations de masse de dépôt avec des masses minimales et maximales respectivement de 0.0021g/m² et 0.0393g/m pour les parties insolubles et 0.0316g et 0.0015g pour les parties solubles, nous constatons dans la plupart des résultats des parties insolubles plus conséquentes par rapport aux parties solubles ce qui confirme que l'augmentation de la conductivité du dépôt humide après la filtration est due à l'élimination de la fraction insoluble, ceci est due à la nature et à la taille des particules dans l'atmosphère à cette période.

Le lessivage atmosphérique apparaît clairement durant la période du 16/03 au 23/03/2018, dont on remarque une diminution de la masse du dépôt humide en fonction du temps. Mais, cela n'a pas duré longtemps puisque le dépôt augmente une deuxième fois le 25/03 (deux jours après l'évènement du 23/03) jusqu'au 03/04 cela est dû au phénomène de ré-suspension et du vent de sable chargé des particules provenant du Sud du pays.

La courbe de tendance de ces masses suit la même allure que celle des températures qui montre que plus la température augmente plus les pluies après sont chargées en particules du fait des fortes ré suspensions en temps sec et du phénomène de lessivage favorisant l'augmentation des dépôts solubles et insolubles.

Taux de lessivage :

$$\%_{Lessivage} = \text{Masse dépôt humide} / \text{Masse dépôt total} \quad (\text{eq. 5.1})$$

Tableau 5.1 : Taux de lessivage

Taux de lessivage			
Prélèvement	Faculté des langues	Résidence universitaire	Ecole paramédicale
1	6.36 %	54.44 %	45.19 %
2	45.85 %	75.95 %	38.41 %
3	42.03 %	91.05 %	30.69 %
4	0 %	0 %	0 %
5	26.91 %	77.65	35.13 %

5.2.2. Dépôt total :

5.2.2.1. Conductivité :

Les histogrammes ci-après montrent les valeurs de conductivités des échantillons de chaque point avant et après filtration.

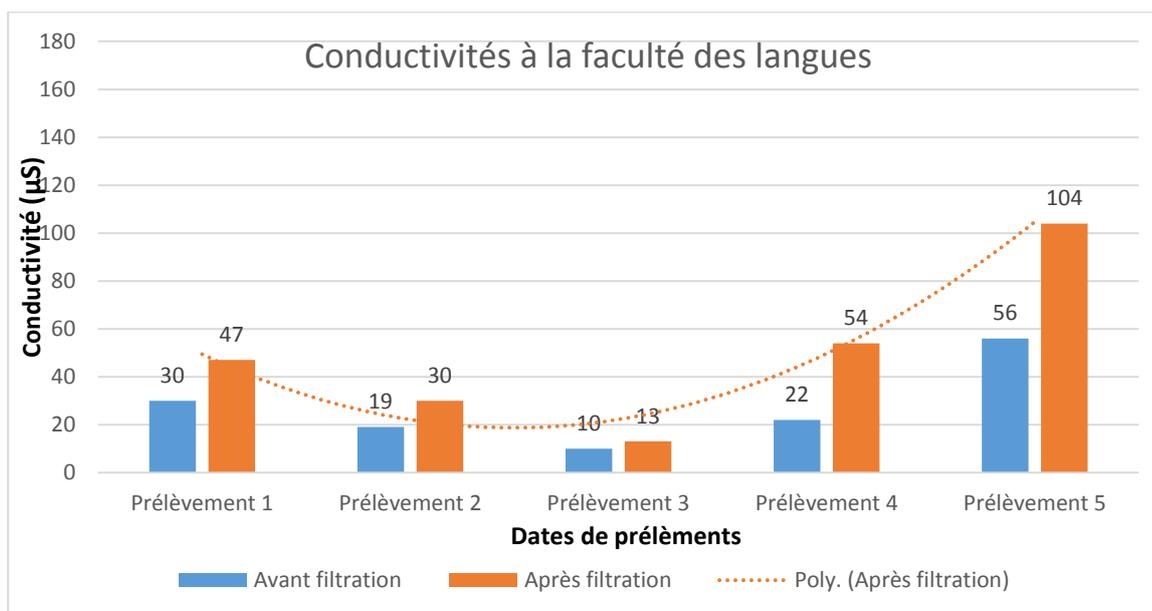


Figure 5. 11: Conductivités de la Faculté des langues

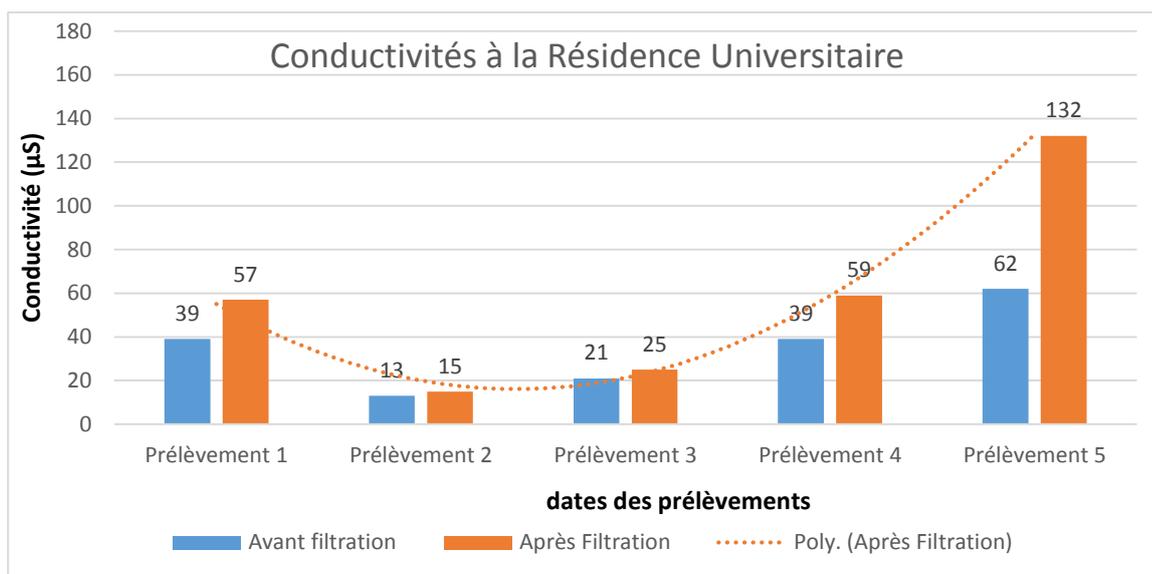


Figure 5. 12 : Conductivités à la Résidence Universitaire

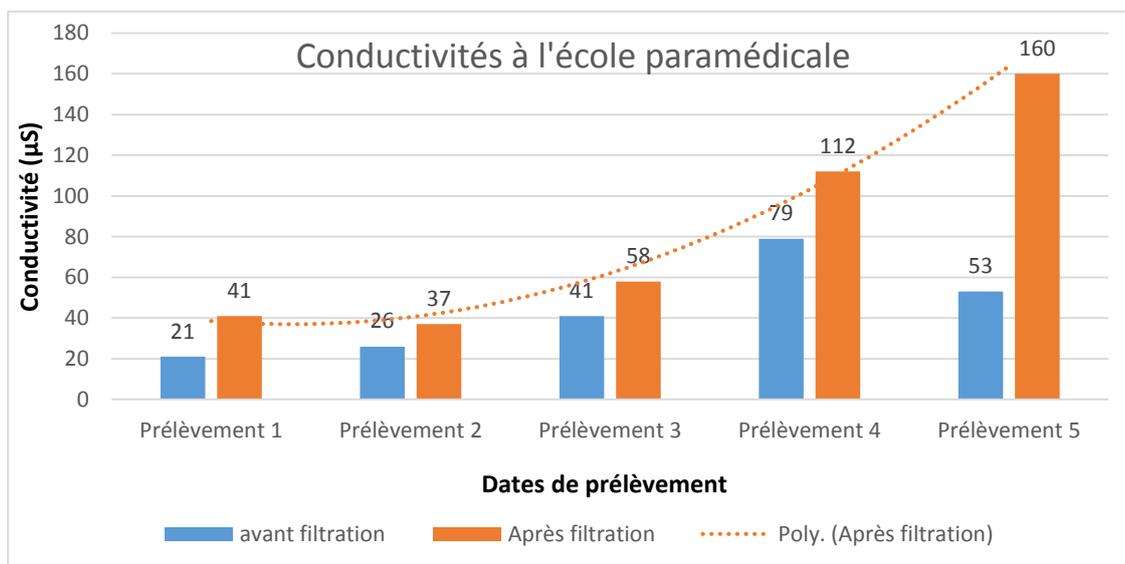


Figure 5. 13 : Conductivités à l'école paramédicale

Après mesure des conductivités avant et après filtration, nous remarquons dans tous les échantillons une augmentation de conductivité due à la diminution des concentrations des solutions en matières insolubles empêchant ainsi le passage du courant électrique à travers les solutions, cette augmentation est aussi due à la présence de matières solubles sous forme ionique (bon conducteur) dans les échantillons. De plus, nous avons ici des tendances de conductivité variant avec la tendance des températures moyennes d'où nous pouvons encore souligner la théorie suivant laquelle la quantité de matière de la substance ionique (bon conducteur) peut augmenter en fonction de la température.

En comparant ces valeurs avec celles du dépôt humide, on remarque l'importance de la charge ionique dans les dépôts humides que celle dans le dépôt total, mais cela est dû au volume des eaux de pluies collectées qui ne dépasse pas 100mL (concentration) et à celui des échantillons qui varie entre 0.5 et 3 l (dilution).

5.2.2.2. Potentiel Hydrogène :

Les valeurs des pH en fonction des échantillons sont données dans les histogrammes suivants

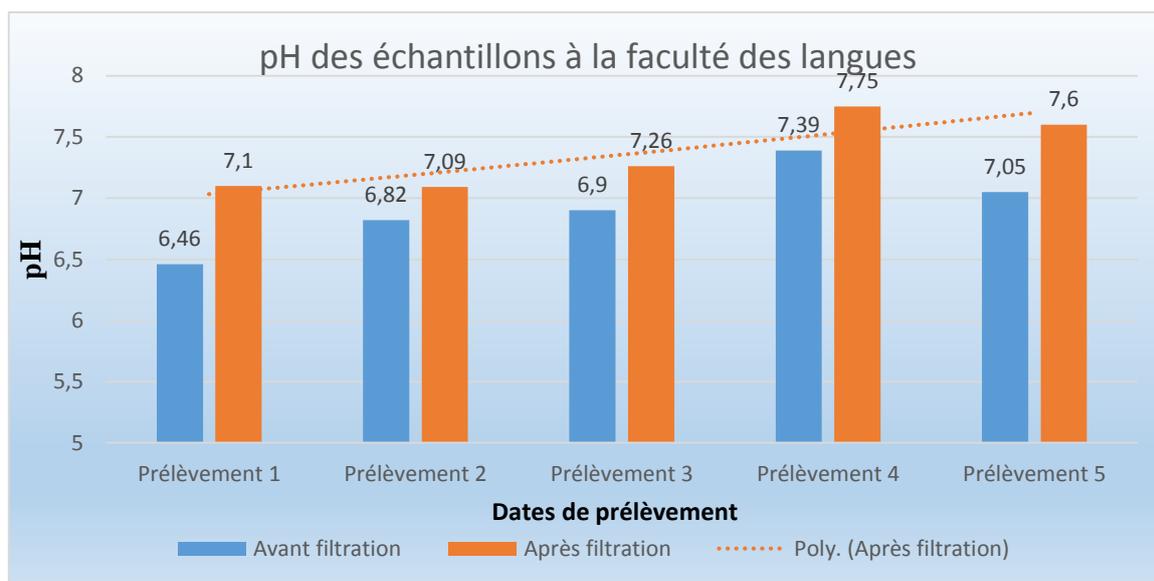


Figure 5. 14: pH des échantillons à la faculté des langues

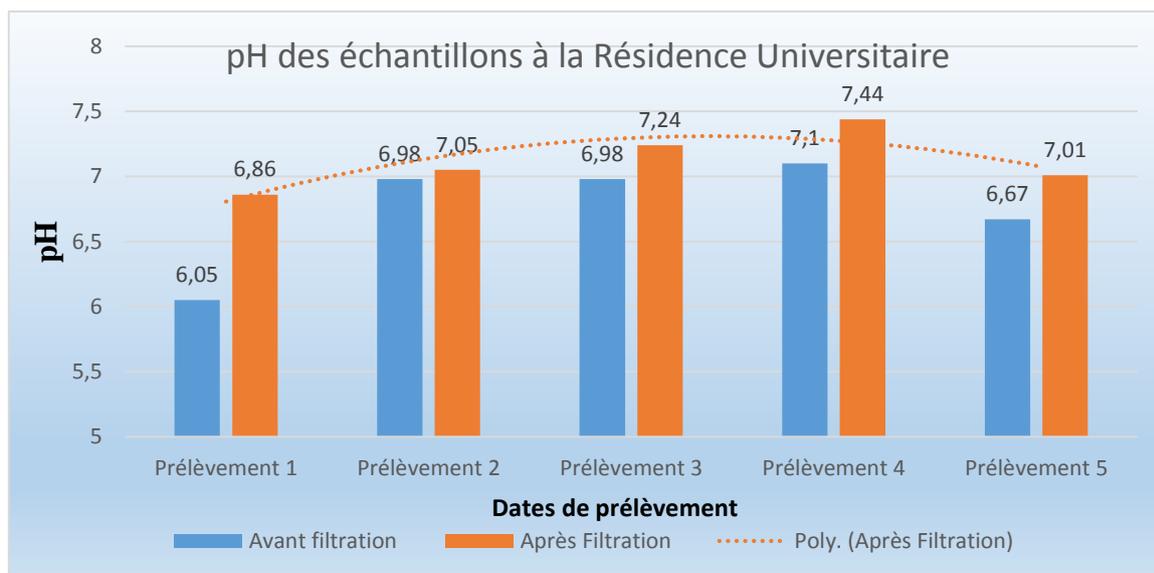


Figure5. 15 : pH des échantillons à la Résidence Universitaire

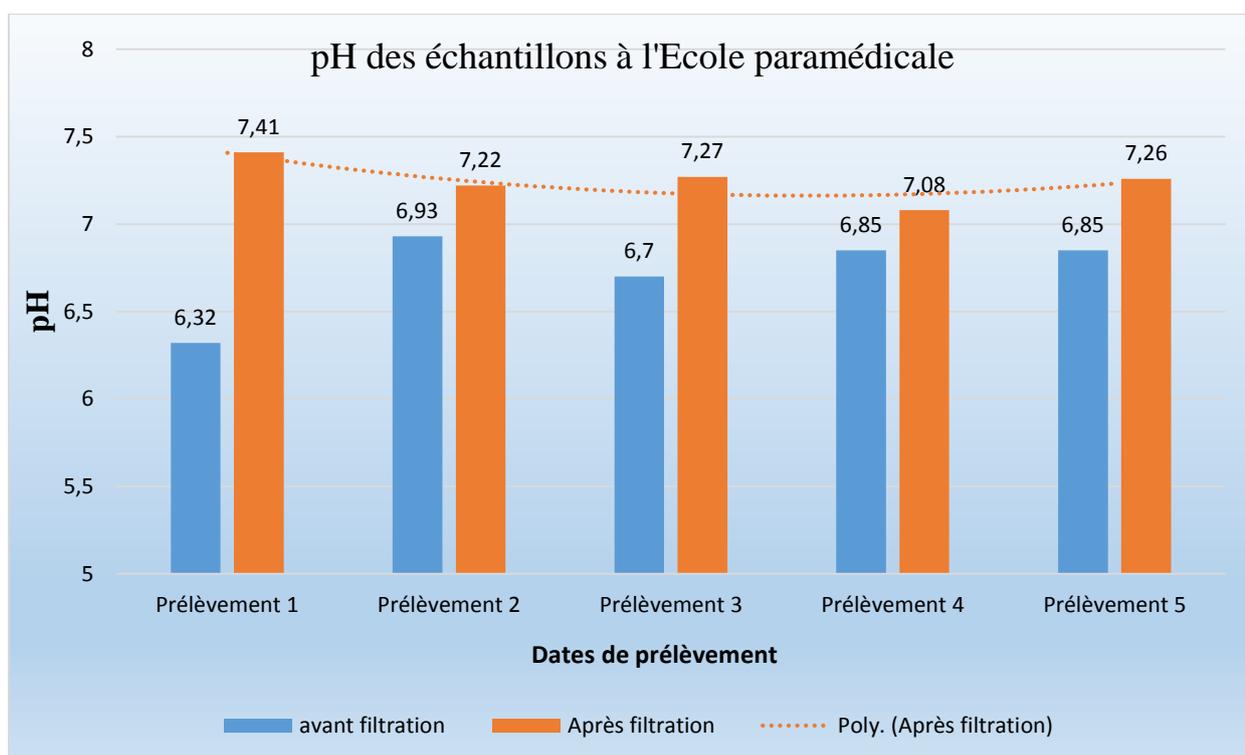


Figure5. 16 : pH des échantillons à l'école paramédicale

La nature des dépôts a engendré des augmentations assez significatives des pH des échantillons après filtration avec une valeur maximale mesurée de 7,75 et une minimale mesurée de 6.32. Nous remarquons aussi que le domaine de la faculté de langue et l'école paramédicale ont des intervalles de pH plus élevés en majorité par rapport à ceux de la résidence universitaire. La majorité des mesures montre une basification des échantillons après la filtration d'où la déduction du caractère acide de la partie insoluble des retombées pendant la période d'étude, cependant le potentiel hydrogène est un paramètre assez instable avec le temps d'où la composition et les conditions d'émission jouent leur rôle.

5.2.2.3. Masse dépôt total (soluble et insoluble) :

Les histogrammes ci-après nous donnent les valeurs des parties solubles et insolubles contenues dans chaque prélèvement :

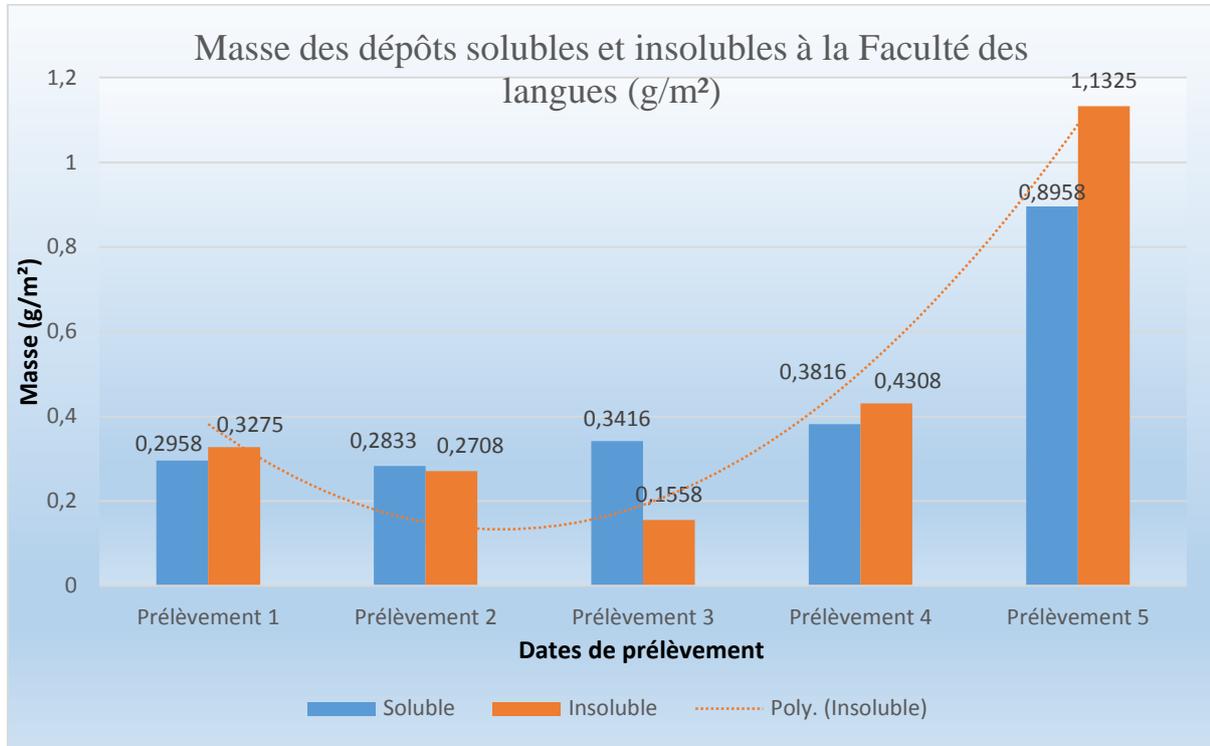


Figure5. 17 : Masse des dépôts solubles et insolubles à la Faculté des Langues

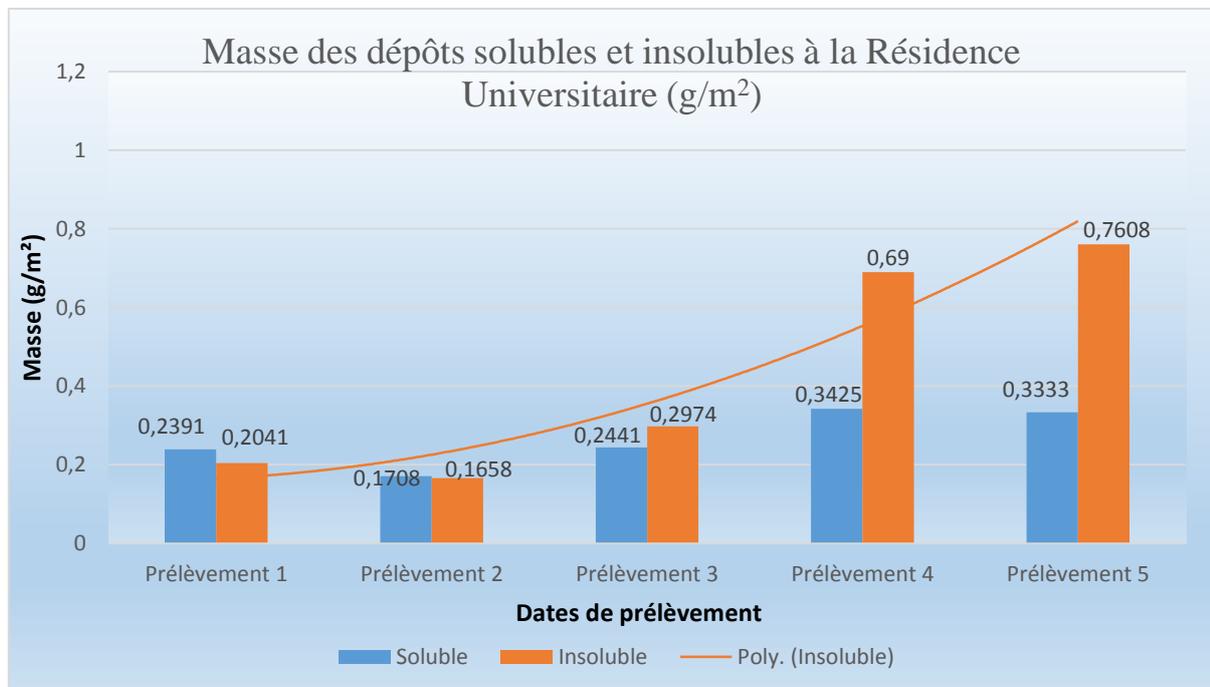


Figure5. 18 : Masse des dépôts solubles et insolubles à la Résidence universitaire

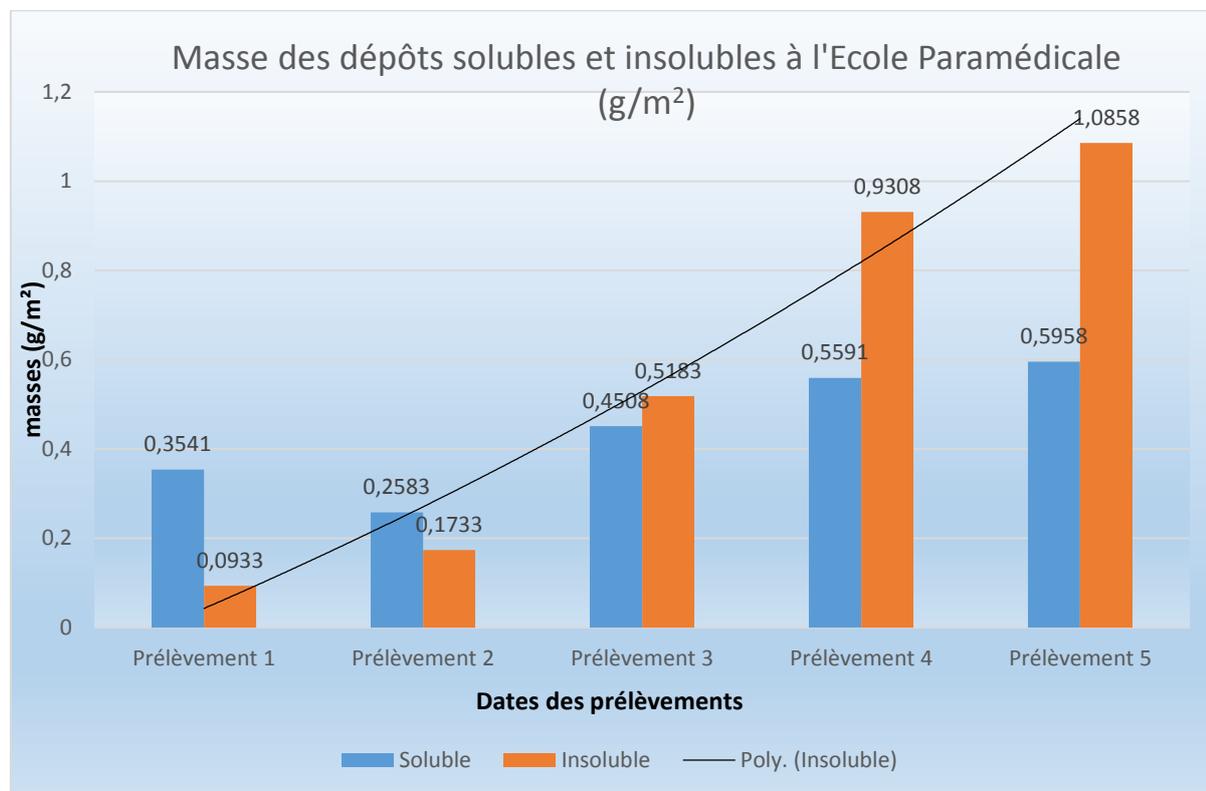


Figure5. 19 : Masse des dépôts solubles et insolubles de l'Ecole Paramédicale

Dans ces histogrammes nous remarquons que la quantité du dépôt total varie d'un prélèvement à autre et d'un point à un autre, avec des parties insolubles généralement importantes par rapport aux parties solubles sauf pour le cas de la faculté des langues où on a enregistré des proportions sensiblement égales. Les tendances de masse nous montrent d'une part, une proportionnalité relative avec la variation de température et d'autre part une relation de fonctionnalité inverse avec l'évolution de l'intensité des vents durant l'étude. De plus nous constatons pour l'ensemble des points une valeur maximale de dépôt au niveau des 5^{ème} prélèvements due à la précipitation d'après vent de sable (03/04/2018) d'un côté mais aussi à la hausse des températures à cette période.

5.2.2.4. Masse dépôt total (Sec et Humide) :

La masse des dépôts nous renseigne d'un point de vue quantitatif sur l'importance des retombées suivant les voies. De façon générale, ces histogrammes ci-dessous nous rendent compte de la voie principale de dépôt particulière des prélèvements suivant leurs masses.

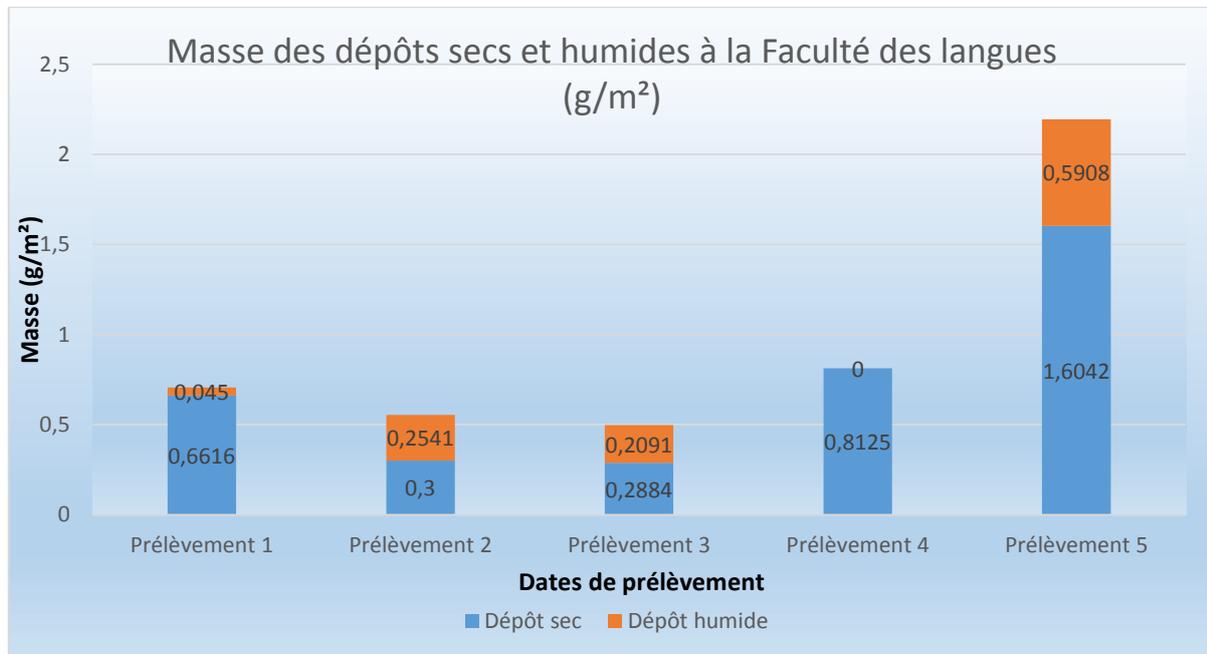


Figure5. 20 : Masse des dépôts secs et humides de la Faculté des Langues

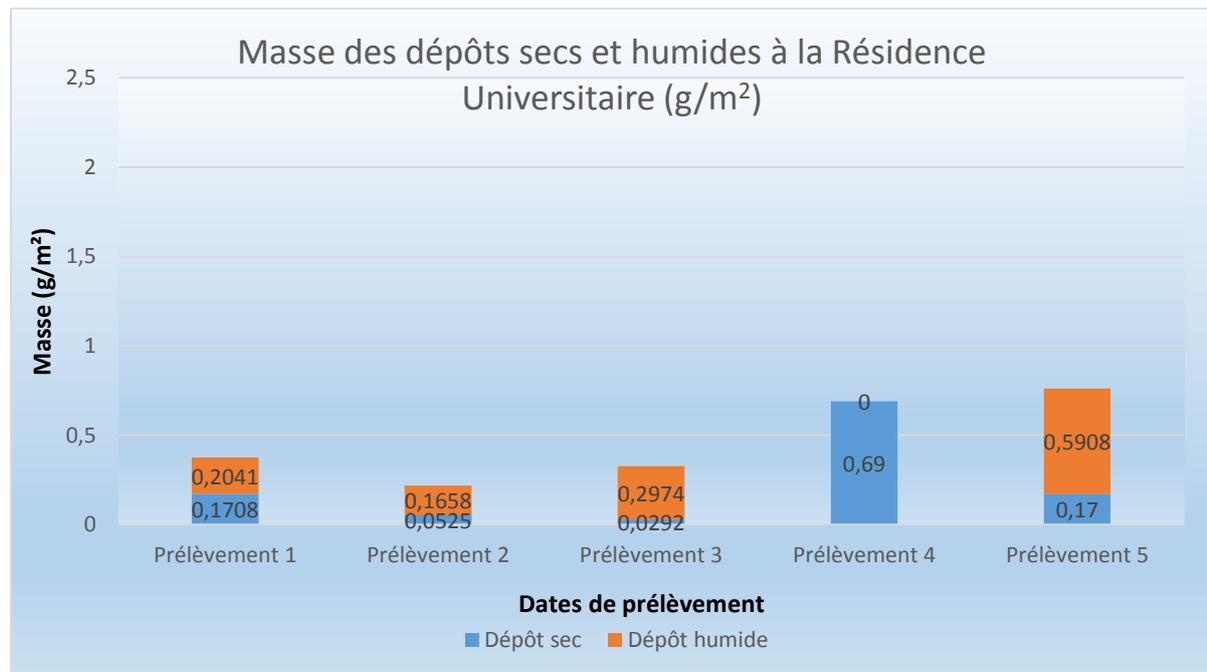


Figure5. 21 : Masse des dépôts secs et humides de la Résidence universitaire

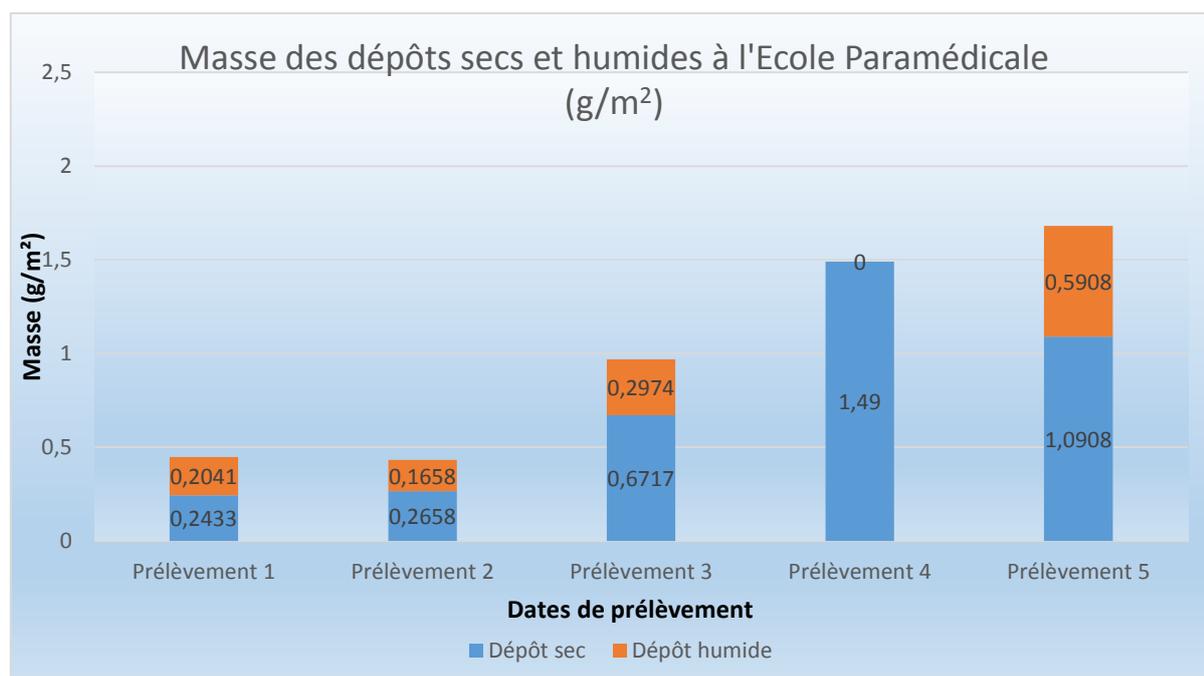


Figure5. 22 : Masse des dépôts secs et humides à l'Ecole Paramédicale

Nous remarquons que dans la majorité des échantillons de l'école paramédicale et de la faculté de langue le dépôt se fait plus par la voie sèche que par la voie humide du fait des vents assez forts venant de l'ouest, couplés à la circulation automobile qui débouchent sur la mise ou remise en suspension de particules du sol et/ou le transport des particules de poussière déjà en suspension dans l'atmosphère provoquant ainsi le déplacement des polluants vers les zones étudiées. Ceci conduit à une augmentation conséquente des dépôts de particules au niveau des points (Faculté des langues) et (Ecole Paramédicale) due à l'emplacement de la voie RN4 entre la direction des vents et ces deux points de prélèvement, contrairement au point de la Résidence Universitaire qui ne se trouve pas sur l'alignement de la direction source des vents dominants et la route nationale ne se voit presque pas affecté par l'effet de ces vents, son dépôt est majoritairement dû au lessivage par les précipitations et à la faible ré-suspension causée par certains vents faibles.

Des augmentations des quantités de dépôts secs dues aux phénomènes de fortes resuspensions de particules (faible humidité) sont aussi observées pendant les périodes de températures assez élevées (du 29/03/2018 au 03/04/2018), et des diminutions pendant les périodes de forte humidité (Après précipitation), due au phénomène de lessivage de l'air. Ces précipitations sont les voies principales de dépôts humides de particules observés dans certains

échantillons collectés directement après ces événements pluvieux aboutissant à des dépôts totaux plus élevés (Lessivage).

Ajoutons un événement exceptionnel : un vent de sable venant du Sud provoquant un grand soulèvement de poussière entre le 3ème et le 4ème prélèvement (31/03/2018) aboutissant à une augmentation significative des dépôts secs dans les échantillons prélevés après cet événement.

Quant au tableau ci-après, celui-ci nous renseigne sur toutes les valeurs des concentrations en retombées.

Tableau 5.2 : Masse des dépôts

Masse des dépôts (g/1 m ²)									
Prélèvement	Faculté de langue (Point 1) 29 jours			Résidence universitaire (Point 2) 29 jours			Ecole paramédicale (Point 3) 25 jours		
	Sec	Humide	Total	Sec	Humide	Total	Sec	Humide	Total
1	0.6616	0.0450	0.7066	0.1708	0.2041	0.3749	0.2433	0.2041	0.4474
2	0.3000	0.2541	0.5541	0.0525	0.1658	0.2183	0.2658	0.1658	0.4316
3	0.2884	0.2091	0.4975	0.0292	0.2974	0.3266	0.6717	0.2974	0.9691
4	0.8125	0	0.8125	0.69	0	0.69	1.49	0	1.49
5	1.6042	0.5908	2.195	0.17	0.5908	0.7608	1.0908	0.5908	1.6816
Dépôt (séjour)	3.6667		4.3491	1.1125		2.3607	3.7616		5.0197
Dépôt (journalier)	0.1264		0.15	0.0383		0.0814	0.1504		0.2007
Dépôt (annuel)	46.1498		54.75	14.0021		29.7122	54.9193		73.2876

Nous remarquons dans ce tableau que le dépôt total annuel de l'école paramédicale est le plus important (73.2876 g/m²), cela peut s'expliquer d'une part, par sa proximité avec la route RN4 et la forte ré-suspension de particule que sa circulation provoque et d'autre part par son emplacement dans la direction des vents forts juste après la route. Après l'école paramédicale, la faculté de langue enregistre le deuxième place vis-à-vis des dépôts totaux (54.75 g/m²) du fait de sa position un peu plus loin de la RN4 par rapport à l'école paramédicale et de son alignement par rapport au souffle des vents forts et la RN4. Enfin vient la résidence avec (29.7122 g/m²) du fait de son éloignement par rapport à la RN4.

5.4. Analyse SAA :

La courbe d'étalonnage de l'analyse SAA est la suivante :

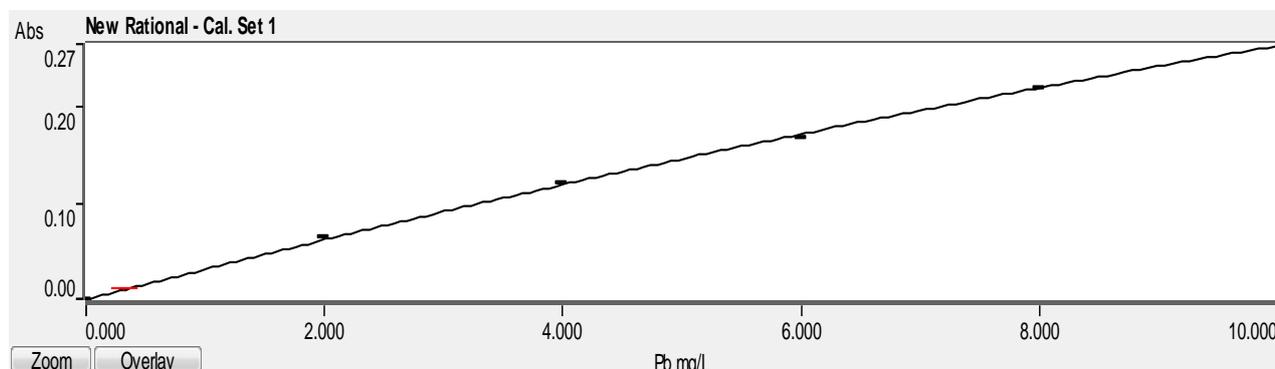


Figure 5.23 : Courbe d'étalonnage

5.4.1. Dépôt humide :

Les résultats de l'analyse sont portés dans le tableau suivant :

Tableau 5.3 : Résultats SAA et Concentration du plomb du dépôt humide

Prélèvements	Résultats analyse (mg/l)	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)	Concentration ($\mu\text{g}/\text{g}$)
1	0.061	25.417	158.031
2	0.043	17.917	158.088
3	indéterminé	–	–
4	indéterminé	–	–
5	0.125	52.083	15.903
C séjour	indéterminé		332.022

Par ce tableau, on observe que le dépôt par voie humide est assez important d'où l'on peut dire que même malgré la faible quantité de précipitations et sa propriété d'insolubilité, le plomb se dépose quand même par voie humide car se rattachant à d'autres particules ou sous forme organique (plomb tetraméthyl) pouvant être lessivées par la pluie par le phénomène « wash out ». Ici aucune norme n'est applicable à nos jours pour déterminer les teneurs limites en plomb dans les eaux de pluies, d'où des travaux ultérieurs sur cette partie sont strictement nécessaires.

5.4.2. Dépôt Total :

Les résultats de l'analyse sont portés dans les tableaux suivants :

- **Point 1 (Faculté des Langues)**

Tableau 5.4 : Résultats SAA et Concentration du plomb dans la partie insoluble (point 1)

Prélèvements	Résultats analyse (mg/l)	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$)	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{g}$)
1	0.03	2.0833	38.168
2	0.025	1.4880	38.462
3	Indéterminé	–	–
4	0.04	2,7778	38.685
5	0.105	7.2917	38.631
C séjour	–	–	153.946
C journalière	–	–	5.308
C annuelle	–	–	1937.42

NB : *indéterminé* < 0.001 mg/l

- **Point 2 (Résidence universitaire)**

Tableau 5.5 : Résultats SAA et Concentration C du plomb dans la partie insoluble (point 2)

Prélèvements	Résultats analyse (mg/l)	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$)	Concentration ($\mu\text{g}/\text{g}$)
1	0.002	0.1389	6.135
2	Indéterminé	–	–
3	Indéterminé	–	–
4	0.007	0.4861	8.393
5	0.006	0.4166	7.5
C séjour	–	–	22.028
C journalière	–	–	0.759
C annuelle	–	–	277.035

- **Point 3 (Ecole Paramédicale)**

Tableau 5.6 : Résultats SAA et Concentration du plomb dans la partie insoluble (point 3)

Prélèvements	Résultats analyse (mg/l)	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$)	Concentration ($\mu\text{g}/\text{g}$)
1	0.0032	0.6667	14.286
2	0.059	4.9167	141.827
3	0.274	19.0278	220.257
4	0.321	22.2917	143.688
5	0.374	25.9723	143.514
C séjour	–	–	663.572
C journalière	–	–	26.543
C annuelle	–	–	9688.195

Dans les tableaux ci-dessus, nous constatons que la concentration annuelle en plomb du point 3 est largement supérieure à celle des autres points et fait environ six (6) fois celle du point 1 qui arrive en 2^{ème} position et plus de quarante (40) fois celle du point 2.

Ceci montre clairement l'influence du trafic routier et de la RN 4 sur le point 2 par rapport aux autres points.

L’histogramme ci-dessous fait le rapport entre les différentes concentrations du plomb dans les différents points :

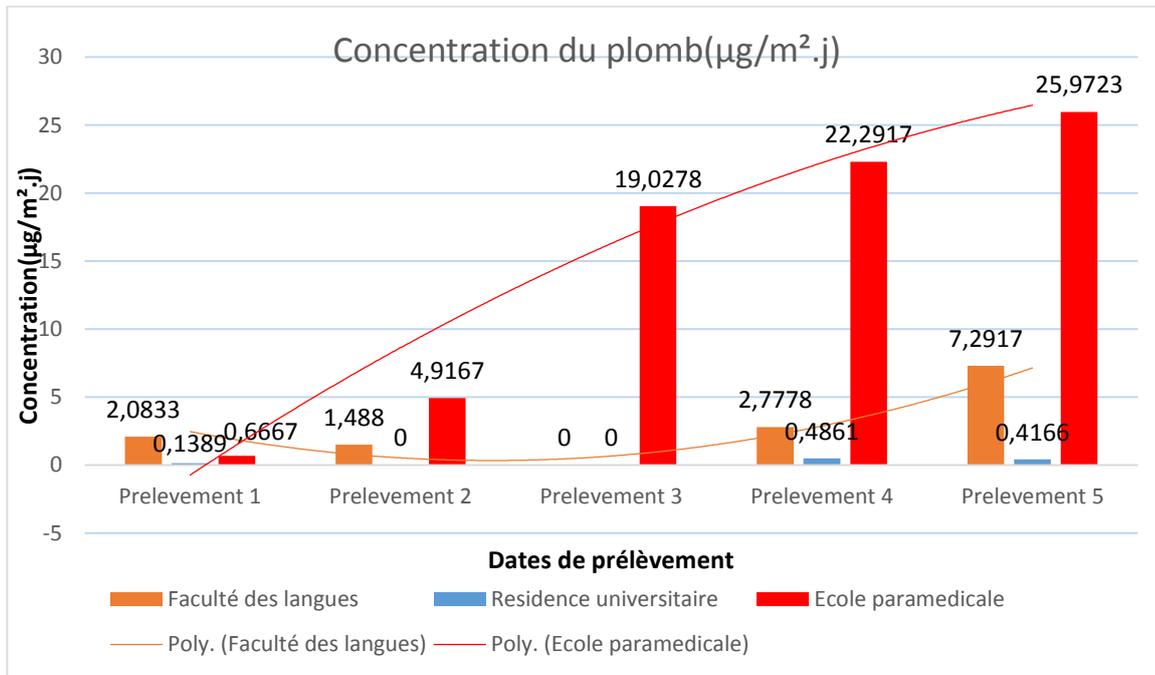


Figure5. 24 : Concentration du plomb dans différents points de prélèvements

D’après l’histogramme, on constate que la concentration du plomb varie d’un point à un autre, avec des courbes de tendance similaires à celles des masses de dépôts totaux. Au niveau de la résidence universitaire le plomb atteint les valeurs minimales enregistrées et ne dépassent pas 0.4861 µg/m²/j, pour le cas de la faculté des langues on a globalement des valeurs moyennes (avec un maximum 7.2917 µg/m²/j), les valeurs maximales sont enregistrées au niveau de l’école paramédicale et varient entre 0.6667µg/m²/j et 25.9723 µg/m²/j, la légère différence de tendance de ces concentrations est remarquée dans le premier prélèvement du fait de sa courte durée d’exposition (2 jours) après le lessivage causé par la première précipitation (11/03/2018). Cette quantité importante du plomb déposée au niveau de ce point est essentiellement due à sa forte exposition au trafic routier élevé au niveau de ce point (RN 4) par rapport aux autres points. Dans le quatrième prélèvement on a enregistré des quantités importantes de plomb malgré l’absence de précipitation ce qui montre l’importance du dépôt par voie sèche lié à l’émission du plomb par la forte consommation en carburant à cette période. Concernant le cinquième prélèvement, la teneur en plomb est plus importante par rapport aux autres prélèvements malgré

la diminution de la consommation en carburant, ce qui peut s'expliquer par l'effet du vent de sable chargé de polluants et notamment de plomb provenant d'autres régions (Pollution au niveau régional) couplé au plomb émis par la RN4 .La concentration est effectivement plus dense à l'école paramédicale (exposition directe), assez moyenne à la faculté des langues (exposition moyenne du fait des vents dominants qui transportent les polluants de la route vers ce point) et relativement faibles au niveau de la résidence universitaire (exposition très faible due aux quelques vents faibles qui provoquent quelques faibles resuspensions vers ce point).

Conclusion et Perspectives :

Les objectifs de ce mémoire sont, d'une part d'estimer les lieux et les périodes durant lesquelles certains points de Khemis sont les plus exposés à l'impact des retombées émises par le trafic routier, et d'autre part d'évaluer la teneur d'un polluant bien connu dans l'environnement routier : le plomb et ses effets possibles sur la santé.

Pour apprécier les niveaux d'expositions aux retombées atmosphériques (dépôt), une zone de mesure en triangle a été établie avec un réseau de jauge placé à chacune des extrémités permettant le recueil de retombées atmosphériques sur la période du 11 mars 2018 au 09 avril 2018. En parallèle une collecte de données météorologiques a été effectuée sur la zone d'étude pour étudier leurs impacts sur la quantité de retombées atmosphériques.

Les résultats de ces deux premières parties permettent de déterminer la teneur et le niveau d'exposition de chaque point de prélèvement (faculté de langue, résidence universitaire et école paramédicale) au plomb routier. Cette dernière étant obtenue par analyse SAA (dosage du plomb) des différents dépôts prélevés. Ces analyses mettent en évidence des différences entre les teneurs en plomb dans les différents points de prélèvement que nous avons reliés avec les différences entre les retombées atmosphériques des différents points, les situations géographiques des points et les différents paramètres météorologiques.

L'étude de la variabilité spatiale et temporelle des teneurs en retombées à l'échelle de la zone de mesure met essentiellement en évidence des périodes et des zones de fortes et de faibles concentrations en retombées. En effet d'après nos valeurs nous remarquons que le niveau d'exposition de l'école paramédicale (point 3) aux retombées (humide + sèche) est relativement conséquent par rapport aux deux autres points quel que soit la période de prélèvement et dépasse $1\text{g/m}^2.\text{j}$ soit $73.2876\text{ g/m}^2.\text{an}$ et ceux en fonction des conditions météorologiques. Cela s'explique d'une part par sa grande proximité avec la route nationale 4 qui engendre de forts phénomènes de ré suspensions du fait de son trafic assez important (dépôt sec majoritairement dominant) et d'autre part par la direction des vents dominants (Venant de l'Ouest) qui dirigent ces particules émises par route dans la direction du point de prélèvement favorisant ainsi des épisodes de forte pollution particulaire au niveau de ce point (prélèvement 4 et 5). La faculté de langue (point 1) possède elle-même des retombées (humide + sèche) en majorité plus conséquent que celles de la résidence universitaire (point 2) pas à cause de sa proximité avec la route nationale 4, mais à cause de la direction de vents dominants venant de l'ouest qui transportent les particules de la route vers la zone d'exposition (dépôt sec majoritairement dominant). La résidence universitaire,

quant à elle, a une faible exposition aux retombés de la route (dépôt humide dominant) due à son emplacement hors de l'alignement direction des vents dominants et route nationale 4, son dépôt sec est essentiellement dû à quelques vents faibles. Les facteurs humidités, précipitations et températures jouent leur rôle aussi car nous remarquons dans nos résultats :

- Augmentation de la température (diminution de l'humidité, pas de précipitations) conduisant à une hausse significative de la ré suspension de particules (augmentation dépôt sec) provoquée par la circulation.
- Augmentation de l'humidité (diminution de la température, précipitations possibles dues à la nature du climat) engendrant une faible ré suspension, augmentation dépôt humide possible (phénomène de lessivage).
- Précipitation (diminution de la température, augmentation de l'humidité) augmentation dépôt humide (lessivage).

Concernant les teneurs en plomb, nous remarquons une certaine analogie entre la quantité des retombées atmosphériques à une période donnée et la teneur en plomb à cette même période d'où nous pouvons dire que pour notre zone d'étude et de façon relative la teneur en plomb peut être fonction de la quantité en retombées d'origine routière. Les résultats obtenus par l'analyse SAA nous confirment la forme particulière et l'insolubilité du plomb dans l'eau froide en ne détectant aucune trace de plomb dans les parties solubles des échantillons après filtration, mais son dépôt par voie humide est significatif qui est établi par le wash out, les études ne se basant alors que sur la partie insoluble des échantillons. S'il n'existe aucune norme sur les retombées en métaux lourds, Une étude comparative de nos résultats avec d'autres résultats de campagnes de mesure nous montre des valeurs classiques en plomb de $10 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$ pour une zone urbaine et entre 2 et $20 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$ pour les zones rurales selon une étude de INERIS (Institut National de l'environnement industriel et des risques), nous remarquons dans notre étude des concentrations en plomb inférieures ou comprises entre les valeurs classiques (valeurs inférieures à $7,2917\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$) au niveau de la résidence universitaire (point 2) et au niveau de la faculté des langues (point 1), cependant nous avons des teneurs en plomb nettement supérieures aux valeurs classiques aux derniers prélèvements de l'école paramédicale (point 3) du fait de sa grande proximité avec la route nationale 4 (valeurs supérieures à $25\mu/\text{m}^2.\text{j}$) pouvant être considérée comme sa principale source d'émission de plomb ,vis-à-vis les fortes consommations des carburants polluants tel que le super et l'essence (plus de 5000 L /j) et les facteurs liés à la chaussée et aux véhicules, combiné à l'augmentation de la température dans les derniers prélèvements provoquant des fortes retombées de Pb qui pourrait être décrite comme des

manifestations de **Pollutions au plomb d'origine routière** qui affecte directement la santé publique (l'hôpital, agglomérations) et le niveau intellectuel (faculté des langues, écoles,..etc.).

Perspectives :

Il apparaît globalement plusieurs aspects qui nécessitent d'être étudiés plus en détail :

- **Recherche :**

- Une méthode de quantification du trafic routier facile à élaborer par le chercheur lui-même car ce travail a rencontré plusieurs contraintes dues à l'obtention de ces données auprès d'autres sources ;
- Des méthodes de recueil des dépôts humides plus élaborées du fait de l'imprévisibilité des précipitations.

- **Développement :**

- L'utilisation de travaux de mesures à grande échelle pour l'élaboration de Normes caractérisant les retombées de métaux lourds ;
- Le développement et la migration des utilisateurs vers des carburants plus rentables moins polluants ;
- L'utilisation de l'essence sans plomb et Sirghar (GPL) ;
- Créer des axes secondaires afin de réduire la concentration du trafic dans les grands axes.

- **Sociales :**

- Éviter à côté des grands axes de circulation, les constructions destinées au grand public ;
- Éviter d'exposer tout produit devant servir à la consommation à côté des grands axes routiers ;
- Et enfin une grande sensibilisation des populations sur les effets du plomb et des polluants atmosphériques en général sur la santé.

Références bibliographiques :

(ADEME, 2009) : AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE, « Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air ».

(AIRFOBEP, 2010) : Particules sédimentables, investigation dans les communes de chateauneuf-les-martigues / La mède campagne juin 2009-avril 2010

(Amdur, 1996) : AMDUR, M. O., DOUL, J., KLAASSEN, C. D. Lead. In : Cassarret and Doull's Toxicology, 5^{ème} édition. New York : McGraw Hill, 1996

(Aouragh, 2015) : L. Aouragh, Etude de la Qualité de l'Air Urbain au Niveau de la Ville de Batna : Cas du Transport Routier, thèse de doctorat, Université Batna, Algérie, 2015

(Aubertin, 1996) : G. Aubertin, La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique, Société française de santé publique, Collection Santé et société N° 4, France, 1996

(ATSDR 2007) : ATSDR. 2007. Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Toxicological profile for Lead. Atlanta, GA:U S Department of Health and Human Services, Public Health Service.

(Ayrault et al. 2010) : Ayrault S., Senhou A., Moskura M., Gaudry A. 2010. Atmospheric trace element concentrations in total suspended particles near Paris, France. Atmospheric environment 44:3700-3707.

(Baize, 1997) : Baize D., 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation, Paris, INRA Éditions,

(Benadda, 2002) : BENADDA, B., 2002. Etat de l'art concernant la mesure des émissions et le traitement des métaux dans les fumées. Cas du plomb. LAEPSI (INSA de Lyon) p 212.

(Bendada, 2011) : K.Bendada - M.Boulakradeche, Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET) : Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds, mémoire de Master 2, Université des sciences et technologie Houari Boumediene (U.S.T.H.B), Algérie, 2011

(Benignus, 1981) : BENIGNUS V.A., OTTO D.A., MULLER R.E., SEIPLE K.E. Effects of age and body lead burden on CNS function in young children. II – EEG spectra, Electroencephal. Clin. Neurophysiol.,1981,

(Boscolo, 1988) : BOSCOLO P, CARMIGNANI M, SACCHETTONI-LOGROSCINO G, RANNELLETTI FO et coll. Ultra structure of the testis in rats with blood hypertension induced by long-term exposure. ToxicolLett 1988,

(Boughedaoui, 2004) : Boughedaoui, M., Kerbachi, R., Kessali, D., Joumard, R. (2004). Mesure de la pollution plombifère dans l'air ambiant d'Alger. Pollution Atmosphérique, n°181, 105-111.

(Caplun et al. 1984) : Caplun et al. 1984, organ procurement ; it's not a cards, hastings center repport.

(Chanel, 1999) : Chanel, Olivier; Dollfus, Catherine; Haguenoer, Jean-Marie; Hartemann, Philippe; Huel, Guy; Larroque, Béatrice; Lison, Dominique; Marret, Stéphane; Pinon-Lataillade, Ghislaine; Prémont, Joël; de Verneuil, Hubert; Zmirou, Denis; Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM, 1999)

(Chien et al. 2006) : Chien LC, Yeh CY, Lee HC, Jasmine Chao H, Shieh MJ, Han BC. 2006. Effect of the mother's consumption of traditional Chineseherbs on estimated infant daily intake of lead from breast milk. Science of The Total Environment 354: 120-126.

(CITEPA, 1991) : CITEPA, 1991. Estimation des émissions atmosphériques des métaux lourds en France pour le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc.

Comité mixte FAO-OMS d'experts des additifs alimentaires, Evaluation of certain food additives and contaminants, Organisation mondiale de la santé, 2011, 237 p. (ISBN 978 92 4 120960 1, p. 164, 175 et 177

(Deletraz, 2002) : DELETRAZ G. Chapitre 1: Pollution atmosphérique, Trafic routier et environnement. Titre: Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne. Incidences des émissions d'oxydes d'azote en vallées d'Aspe et de Biriadou (Pyrénées). Pau, France, 2002.

(Duggan, 1985) : Duggan MJ, Inskip MJ. 1985. Child hood exposure to lead in surface dust and soil: acommunity health problem. Public Health Rev 13: 1-54.

(Elichegary et al, 2010) : Elichegaray, C., Bouallala, S., Maitre, A., et Ba, Etat et évolution de la pollution atmosphérique. Revue française d'allergologie, 2010, 50, 381-393.

(Emery, 2012) :J. Emery, La qualité de l'air liée au transport routier en milieu urbain: Analyse des concentrations en oxydes d'azote sur l'agglomération dijonnaise, mémoire pour l'obtention du Master 2, université de Bourgogne France, 2012

(Ettinger et al. 2006) : Ettinger AS, Téllez-RojoMMa, Amarasiriwardena C, Peterson KE, Schwartz J, Aro A, et al. 2006. Influence of Maternal Bone Lead Burden and Calcium

Intakeon Levels of Lead in Breast Milk over the Course of Lactation. American Journal of Epidemiology 163: 48-56.

(Fallah, 2014) : M.Fallah, Modélisation de l'impact du trafic routier sur la pollution de l'air et des eaux de ruissellement, thèse de doctorat, Université Paris-Est, France, 2014

(Finster et al. 2004) : Finster ME, Gray KA, Binns HJ. 2004. Lead levels of edibles grown in contaminated residential soils: a field survey. Science of The Total Environment 320: 245-257.

(François, 2004) : François, S. Méthodologie d'établissement de cadastres d'émissions à l'échelle régionale: Application au cadastre Escompte et à son extension à la région PACA, Thèse de l'université Louis Pasteur-Strasbourg 1-France, 2004

(Garnier, 2005) : Garnier R. 2005. Toxicité du plomb et de ses dérivés. EMC - Toxicologie-Pathologie 2: 67-88.

(Germain, 2006) : G.Germain, Pollution atmosphérique, Observatoire des Nuisances Aériennes, Bureau d'études des nuisances aériennes, France, 2006

(Haggstrom, 2015) : Symptômes du saturnisme (lead poisoning symptoms), from Mikael Häggström 2015 (cc-zero).jpg

(Karim, 2008) : Z.Karim, la pollution urbaine dans la wilaya d'Oran, mémoire de magister, université d'Oran, Algérie, 2008

(KawalskaPyłka et al, 1995) : Kowalska-Pyłka H., Kot A., Wierciński J., Kurska K., Wałkuska G., Cybulski W. Lead, cadmium, copper, and zinc content in vegetables, gooseberry fruits and soils from gardening plots of Lublin. Roczn. PZH, 1995,

(Laurewys, 1988) : LAUWERYS, R., 1988. Toxicologie industrielle et professionnelle. 3^{ème} édition Masson-Paris.

(Legret et al, 1997) : Legret, M., C. le Marc et D. Demare, Pollution des eaux de ruissellement de chaussées autoroutières – L'autoroute A 11 près de Nantes, Bulletin des Laboratoires des Ponts et chaussées, 1997, N°211, pp. 101-115.

(Levin 1986) : Levin R. 1986. Reducing Lead in Drinking Water: A Benefit Analysis. Washington, DC. US EPA.

(Maizi, 2013) : N. Maizi, caractérisation de la pollution plombique à l'aide des bio indicateurs végétaux : un lichen (Ramalinafarinacea), une mousse (Funariahygrométrica) et quelques espèces phanerogamiques dans la region d'Annaba (ALGERIE), thèse de doctorat, université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 2013

(Marteau, 2013) : J.Marteau, Caractérisation multi-échelle et analyse par essai d'indentation instrumentée de matériaux à gradient générés par procédés mécaniques et thermochimiques de traitement de surface, thèse de doctorat, Université Technologique de Compiègne, France, 2013

(Masclat, 2005) : P. Masclat, Pollution atmosphérique causes conséquences solutions et perspectives, Ellipses Edition, 2005

(Naftal, 2018) : Unité Naftal Khemis Miliana, 2018

(Pagotto, 1999) : C.Pagotto, étude sur l'émission dans les eaux et dans les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier, thèse de doctorat, université de Poitiers, France, 1999

(Pradyt, 2004) : PRADYT, Patnaik. Dean' sAnalytical Chemistry Handbook (McGraw-Hill Handbooks). Second edition. 1114 p. 2004. ISBN: 0071410600 .

PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT, 2005. L'Afrique subsaharienne fête l'élimination de l'essence au plomb. Communiqué de presse à Nairobi.

Rapport OMS/ONU International programme on chemical safety ; environmental health criteria 85 ; lead - environmental aspects, 1989, Genève chap 1.2.7. Intake of lead shot

(Root, 2000) : Root RA. 2000. Lead Loading of Urban Streets by Motor Vehicle Wheel Weights. Environ Health Perspect 108:937-940

(Skoog, 2003) : SKOOG, HOLLER, NIEMAN. Principe d'analyse instrumentale, fifth edition. Edition de Boeck université. Paris, 2003. 938p. ISBN : 2-7445-0112-3.

(Sportisse, 2008) : B. Sportisse. Pollution atmosphérique: Des processus à la modélisation. Springer-Verlag France. Paris, 2008. 345 p. (Ingénierie et développement durable). ISBN : 978-2-287-74961-2.

(Traore, 2007) : S. Traore, Mise au point d'une méthode d'analyse de trois métaux lourds dans le sel de consommation: le cadmium, le cuivre et le plomb, thèse de doctorat, Faculté de Médecine de pharmacie et d'odontostomatologie(FMPOS) de Bamako, Mali, 2007

(US EPA 1986) : US EPA. 2006. Air Quality Criteria for Lead: Final report. EPA/600/R-05/144aF-bF. Washington, DC. US Environmental Protection Agency.

(Vendell, 2011) : Florian Vendell, Modélisation de la dispersion atmosphérique en présence d'obstacles complexes : application à l'étude de sites industriels, these de doctorat, Université de Lyon, France, 2011

(WHO 1977) : WHO. 1977. Environmental Health Criteria 3 Lead. Geneva: World Health Organization

Annexes

Avant Filtration			
Prélèvement 1	Cond(μS)	Ph	Temp($^{\circ}$C)
Faculté de Langue	60	6,46	21,7
Ecole paramédicale	55	6,5	21,7
Résidence universitaire	59	6,32	21,7
Prélèvement 2	Cond(μS)	Ph	Temp($^{\circ}$C)
Faculté de Langue	69	6,02	20,9
Ecole paramédicale	26	7,93	21
Résidence universitaire	13	4,47	20,9
Prélèvement 3	Cond(μS)	Ph	Temp($^{\circ}$C)
Faculté de Langue	10	6,7	20,5
Ecole paramédicale	41	6,93	20,5
Résidence universitaire	21	6,68	21
Prélèvement 4	Cond(μS)	Ph	Temp($^{\circ}$C)
Faculté de Langue	22	6,67	20,5
Ecole paramédicale	76	7,39	20,5
Résidence universitaire	39	6,84	20,5
Prélèvement 5	Cond(μS)	Ph	Temp($^{\circ}$C)
Faculté de Langue	56	6,85	21
Ecole paramédicale	53	7,08	21,1
Résidence universitaire	62	6,67	21

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques des échantillons avant filtration

Après Filtration			
Prélèvement 1	Cond(μS)	Ph	Temp(°C)
Faculté de Langue	18	7,08	18
Ecole paramédicale	13	7,16	18,1
Résidence universitaire	11	7,16	18
Prélèvement 2	Cond(μS)	Ph	Temp(°C)
Faculté de Langue	14	60,85	19
Ecole paramédicale	5	6,56	19
Résidence universitaire	9	7,07	19,1
Prélèvement 3	Cond(μS)	Ph	Temp(°C)
Faculté de Langue	6	7,23	19
Ecole paramédicale	12	6,88	19
Résidence universitaire	24	7,27	19
Prélèvement 4	Cond(μS)	Ph	Temp(°C)
Faculté de Langue	20	6,89	18,9
Ecole paramédicale	28	6,9	18,9
Résidence universitaire	58	6,75	18,8
Prélèvement 5	Cond(μS)	Ph	Temp(°C)
Faculté de Langue	212	7,26	19,1
Ecole paramédicale	189,3	6,65	19,1
Résidence universitaire	155,4	7,27	19,1

Tableau 2 : Paramètres physico-chimiques des échantillons après filtration

Eaux de pluie

Date	Fac. Langue	Ecole Par.	Res. Univ.
11/03/2018(1)	P1	0	0
16/03/2018	P1	P1	P1
21 et 22/03/2018	P2	P2	P2
23/03/2018	P2	P3	P3
25/03/2018	P3	P3	P3
03/04/2018(5)	P5	P5	P5

Tableau 3 : Dépôts humides pour chaque prélèvement

P : prélèvement (Ex : P1=prélèvement 1)

Eaux de pluie en fonction de la filtration						
Date	Cond (µS)		Ph		Temps (°C)	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après
11/03/2018(2MM)	70	141,2	7,37	7,19	18	18,1
16/03/2018(5MM)	93	251	7,4	7,34	18,1	18,1
21 et 22/03/2018(11MM)	48	141,3	7,66	7,75	18	18
23/03/2018(2MM)	126	152,2	7,67	7,34	18,2	18
25/03/2018(27MM)	134	251	7,23	7,75	18,5	18,1
03/04/2018(2MM)	149	185,4	7,05	6,5	19	18

Tableau 4 : Paramètres physico-chimiques des eaux de pluie avant et après filtration

Dépôt humide (g/0.12m ²)				
Date	Filtre	Insoluble	Soluble	Total
11/03/2018(1)	FG	0.0039g	0.0015g	0.0054g
16/03/2018	FF	0.0154g	0.0091g	0.0245g
21 et 22/03/2018	F1	0.0115g	0.0084g	0.0199g
23/03/2018	FH	0.0021g	0.0085g	0.0106g
25/03/2018	FE	0.0167g	0.0084g	0.0251g
03/04/2018(5)	FA,FB,FC,FM,FD	0.0393g	0.0316g	0.0709g
Dépôt (exp)		0.0889g	0.1122g	0.2011g

Tableau 5 : Masse des dépôts humides (g/0.12m²)

Masse des dépôts Totals (g/0.12m ²)									
Prélèvement	Faculté de langue (Point 1) 29 Jours			Résidence universitaire (Point 2) 29 jours			Ecole paramédicale (Point 3) 25 Jours		
	Soluble	Insoluble	Total	Soluble	Insoluble	Total	Soluble	Insoluble	Total
1	0.0355g	0,0393g	0.0848g	0.0155g	0,0163g	0.0318g	0.0425g	0,0112g	0.0537g
2	0.0340g	0,0325g	0.0665g	0.0204g	0,0057g	0.0261g	0.0310g	0,0208g	0.0518g
3	0.0410g	0,0187g	0.0597g	0.0292g	0,0099g	0.0391g	0.0541g	0,0622g	0.1163g
4	0.0458g	0,0517g	0.0975g	0.0411g	0,0417g	0.0828g	0.0671g	0,1117g	0.1788g
5	0.1075g	0,1359g	0.2634g	0.0513g	0,0400g	0.0913g	0.0715g	0,1303g	0.2018g
Dépôt (séjour)	0.2438g	0.2781g	0.5219g	0.1624g	0.1136g	0.2639g	0.2561g	0.3362g	0.6024g
Dépôt (journalier)	0.0084g	0.0096g	0.0186g	0.0056g	0.0039g	0.0091g	0.0102g	0.0134g	0.0240g
Dépôt (annuel)	3.066g	3.504g	6.82g	2.0451g	1.4235g	3.5654g	3.7390g	4.891g	8.7950g

Tableau 6 : Masse des dépôts Totaux (g/0.12m²)

