



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie Et Ecologie Végétale

قسم : البيولوجيا و علم البيئة النباتية .

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Ecologie fondamentale et appliquée

Intitulé :

Mesure des retombées particulaires et métalliques au niveau de la ville de Didouche Mourad

Présenté et soutenu par : *AMARA Rayen*

Le : 25/06/2018

Jury d'évaluation :

Président du jury : Dr AFRI-MEHENNAOUI Fatima Zahra,
Frères Mentouri-Constantine

Prof. Université

Rapporteur : Dr Prof ALI KHODJA Hocine,
Frères Mentouri-Constantine

Prof. Université

Examineurs : Dr ZAIMECHE Saida,
Frères Mentouri-Constantine

MCB Université

*Année universitaire
2017 - 2018*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

L'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir : mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

A mes parents, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que Dieu leur procure bonheur et santé.

A ma chère et adorable sœur NIDHAL, à mon petit frère MOHAMMED RAMY et bien sur à toute ma famille et mes amis.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et sœurs de cœur.

A celui qui m'a soutenue tout au long de ce projet : mon cher fiancé WASSIM.

A vous tous, un grand merci

Remerciements

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir procuré santé et volonté d'entamer et d'achever ce mémoire.

Ce travail ne serait aussi riche et n'aurait pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr. Dr. Prof. Ali-khodja H que je remercie pour la qualité de son travail exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant toute la préparation de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent, également à Mr. Bouzian. M pour son aide incommensurable, son soutien moral et ses encouragements.

Je suis consciente de l'honneur que me fait Mme. Dr. Afri-Mehennaoui F-Z en étant présidente du jury et Mme. Zaimeche .S d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie également Mme. Dr. Kemmouche -Ghallab A pour son aide et ses encouragements.

Mes remerciements s'adressent à tous mes professeurs pour leur générosité et leur patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Mes profonds remerciements vont aussi à toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin, principalement à tout l'effectif du Laboratoire de Pollution et Traitement des Eaux.

Table des matières

Introduction	1
1^{ère} Partie : Revue de la bibliographie	
I. Généralités sur la pollution atmosphérique	4
I.1. Introduction	4
I.2. Composition de l'atmosphère	4
I.3. Les sources de pollution atmosphérique	4
I.3.1 Sources naturelles	4
I.3.2. Sources anthropiques	5
I.4. Météorologie et pollution atmosphérique	6
I.5. Impacts de la pollution atmosphérique	7
I.5.1. Effets sur la santé humaine	7
I.5.2. Effets sur la végétation	7
I.5.3. Effets sur les matériaux	7
I.5.4. Effets planétaires	8
I.6. Devenir des particules dans l'environnement	8
I.6.1. Transfert des polluants	8
I.6.2. Transformation des polluants	9
I.6.3. Dispersion des polluants	9
Chapitre II. Pollution par les particules aéroportées	10
II.1. Introduction	10
II.2. Classification des particules selon leurs tailles	10
II.2.1. Les PM ₁₀	10
II.2.2. Les PM _{2,5}	10
II.2.3. Les PM _{0,1}	10
II.3. Sources d'émission des particules	10
II.3.1. Sources naturelles	10
II.3.2. Les sources anthropiques	11

II.4. Les éléments traces métalliques	12
II.5. Retombées atmosphériques	14
II.5.1. Dépôt des particules	14
II.5.2. Techniques de collecte des retombées atmosphériques	15

2^{ème} Partie: Echantillonnage et analyse des retombées atmosphériques

Chapitre I. Principe de la méthode (jauge de précipitation)	18
Chapitre II. Prélèvements	18
II.1. choix des sites	18
II.2. Collecte	19
Chapitre III. Traitement des échantillons	19
III.1. Préparation des échantillons	19
III.2. Traitement de la fraction soluble	19
III.3. Traitement de la fraction insoluble	20
IV. Analyse des échantillons	20
IV.1. Description de Shimadzu AA-7000	20
IV.2. Sensibilité de la méthode	22

3^{ème} Partie : Résultats et discussion

I. Roses des vents	24
II. Présentation des résultats	26
III. Evolution temporelle des retombées	26
IV. Pourcentage de la fraction soluble	27
V. Classement des sites en termes de contamination par les poussières et les métaux toxiques	33
V.1. Poussières sédimentables	33
V.2. Cuivre	34
V.3. Nickel	35
V.4. Plomb	35
V.5. Chrome	36

V.6. Comparaison avec les niveaux observés en 2002-2003	37
Conclusion	39
Références bibliographiques	40

Liste des figures

Figure 1. Différenciation conceptuelle des retombées atmosphériques	16
Figure 2. Topographie du site de prélèvements	18
Figure 3. Shimadzu AA-7000	20
Figure 4. Organigramme récapitulatif de la procédure d'échantillonnage et d'analyse	21
Figure 6. Rose des vents pour la période P1	24
Figure 7. Rose des vents pour la période P2	25

Liste des tableaux

Tableau 1. Coordonnées UTM des sites de prélèvements.	19
Tableau 2. Seuils de détection de quelques éléments métalliques par la SAAF.	22
Tableau 3. Retombées atmosphériques totales des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P1.	28
Tableau 4. Retombées de la fraction insoluble des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P1.	28
Tableau 5. Retombées de la fraction soluble des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P1.	29
Tableau 6. Pourcentage des éléments métalliques solubles.	29
Tableau 7. Retombées atmosphériques totales des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P2.	30
Tableau 8. Retombées de la fraction insoluble des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P2.	30
Tableau 9. Retombées de la fraction soluble des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P2.	31
Tableau 10. Pourcentage des éléments métalliques solubles.	31
Tableau 11. Retombées moyennes des poussières sédimentables, des éléments métalliques et des paramètres météorologiques.	32
Tableau 12. Flux des retombées des poussières sédimentables sur les différents postes pour les périodes P1 et P2.	33
Tableau 13. Flux des retombées de cuivre sur les différents postes pour les périodes P1 et P2.	34
Tableau 14. Flux des retombées de nickel sur les différents postes pour les périodes P1 et P2.	35
Tableau 15. Flux des retombées de plomb sur les différents postes pour les périodes P1 et P2.	35
Tableau 16. Flux des retombées de chrome sur les différents postes pour les périodes P1 et P2.	36
Tableau 17. Dépôts de métaux toxiques observés au niveau des dix postes de surveillance des retombées au courant de la période du 04/11/2002 et le 12/01/2003.	37
Tableau 18. Dépôts de métaux toxiques observés au niveau des dix postes de surveillance des retombées au courant de la période du 06/11/2017 et 27/12/2017.	37

Introduction

Parmi les particules émises dans l'atmosphère, les plus lourdes sédimentent plus ou moins rapidement, le plus souvent à quelques centaines de mètres de leur source. On les appelle les poussières sédimentables. Outre l'effet physique des dépôts sur la végétation, ces dépôts peuvent constituer un risque pour l'environnement car les éléments toxiques qu'ils contiennent éventuellement peuvent s'accumuler dans les sols et dans les écosystèmes.

Les oiseaux et les mammifères voient leurs capacités reproductrices diminuées et leurs systèmes hormonaux perturbés suite à une exposition croissante aux métaux lourds (ML) et aux polluants organiques persistants (POPs) présents dans leurs proies. Les écosystèmes végétaux, en particulier forestiers, subissent un stress suite à l'accumulation de ML.

Ces poussières sont dangereuses pour la santé humaine sont responsables de salissures (Ali-Khodja et al., 2008).

La zone industrielle de Didouche Mourad renferme en son sein une multitude d'activités génératrices de poussières: cimenterie, exploitation de carrières, briqueterie, fabrication de carrelage, fabriques de biscuits, complexe de cosmétiques, fabrique de chaussures, plusieurs minoteries, industrie plastique, transformation du bois et du papier, etc.

L'implantation de l'usine à proximité d'une grande densité de population, d'une part, et la place occupée par le site en termes d'émissions atmosphériques d'autre part, expliquent le contexte de forte sensibilité locale aux rejets de poussières. La problématique d'empoussièrément susceptible de provoquer des désagréments pour les populations riveraines a été prise en compte au travers de la politique mise en œuvre par la cimenterie pour diminuer son impact dans l'environnement dès 2012 par la mise en place de plusieurs filtres à manches performants. La réglementation environnementale mise en œuvre progressivement depuis les années 2000 a, pour sa part, beaucoup contribué à maîtriser les rejets industriels au niveau national.

Cette étude s'intéresse au suivi des retombées de poussières sédimentables dans et aux alentours de la ville de Didouche Mourad au travers de l'implantation optimale d'un réseau recouvrant une dizaine de postes de surveillance. Cette étude est le prolongement d'une étude de suivi des retombées atmosphériques ayant été réalisée pendant une année en 2002-2003. Elle permet de caractériser la variabilité géographique et temporelle des retombées des poussières sédimentables sur une période de deux mois et de plusieurs éléments métalliques, parmi lesquels des métaux hautement toxiques. Elle vise, en outre, à :

- comparer les niveaux observés avec les normes internationales en vigueur
- estimer le pourcentage de la fraction soluble qui, théoriquement représente un danger supplémentaire du fait de la possibilité qu'a cette fraction à se dissoudre dans les végétaux, d'une part, et à atteindre la nappe phréatique, d'autre part.
- classer les postes constituant le réseau de surveillance des retombées et à identifier les facteurs responsables des écarts observés au niveau d'un même poste et de l'évolution temporelle des dépôts.
- identifier l'influence des sources potentielles: usage du sol, activités industrielles, chauffage domestique, trafic routier, etc.
- comprendre l'influence des paramètres météorologiques sur les retombées
- analyser les tendances spatio-temporelles des retombées en comparant les niveaux actuels avec ceux enregistrés en 2002/2003 et appréhender les causes des écarts observés.

1^{ère} PARTIE : REVUE DE LA BIBLIOGRAPHIE

I. Généralités sur la pollution atmosphérique

I.1. Introduction

La pollution atmosphérique est définie comme l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives.

La pollution de l'air est une préoccupation forte à la fois de la population et des collectivités locales et de l'Etat, tant pour ses effets sur la santé que sur l'environnement. La surveillance de la qualité de l'air est indispensable et doit s'inscrire dans une stratégie de surveillance basée sur la réglementation actuelle et prochaine. Elle est largement orientée vers l'évaluation de l'exposition de la population et de l'environnement (Honner, 2006).

I.2. Composition de l'atmosphère

L'homme inhale quotidiennement environ 15 000 litres d'air. Cet air est composé en majorité d'azote (78%) et d'oxygène (21%) accompagné d'un peu d'argon (0.9%) et de dioxyde de carbone (0.035%). Le solde est constitué de gaz rares (hélium, krypton, xénon) et d'hydrogène. Les basses couches atmosphériques contiennent également de la vapeur d'eau.

Mais on trouve également dans l'air, bien qu'en quantités infimes, des gaz polluants : oxydes de soufre, d'azote, ozone, ...etc. Ces gaz sont émis dans l'atmosphère par des sources naturelles (volcans, végétation, érosion, etc.) mais également anthropiques (transports, industries, chauffage, agriculture, ...etc). (Honner, 2006)

I.3. Les sources de pollution atmosphérique

Deux grandes catégories de sources peuvent être distinguées : les sources anthropiques liées directement à l'activité humaine et les sources naturelles. La nature des composés émis et leur quantité variant fortement selon les secteurs émetteurs (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/sources-de-polluants-atmospheriques.html>).

I.3.1 Sources naturelles

Les sources naturelles ont un faible impact en terme de santé publique comparées aux pollutions concentrées qui résultent des activités humaines car elles se situent en général dans des zones peu peuplées, ces sources naturelles sont diverses :

Le volcanisme: il est la cause d'énormes émissions de gaz et de particules.

Le rayonnement solaire : formation d'ozone et de méthane

La combustion naturelle de la biomasse : (feu d'un tas de feuilles mortes) émission de CO₂, CO , hydrocarbures

L'activité des organismes vivants dans les sols, zones marécageuses et les étendu d'eau: formation de méthane et de composés soufrés et azotés

La formation d'embruns marins l'érosion éolienne, l'activité photosynthétique: source de pollution

I.3.2. Sources anthropiques

Le transport

Depuis le milieu des années 1950, la circulation routière est le principal responsable des émissions d'oxydes d'azote et une source importante de poussières fines et de suies de diesel, une substance cancérogène. Malgré une nette augmentation du trafic, les émissions ont diminué depuis 1990, grâce à des innovations techniques dans les véhicules. Les rejets d'oxydes d'azote et de poussières fines sont encore trop importants et les émissions de CO₂, très élevées, diminuent lentement.

De nombreux engins et machines fonctionnent au diesel, tout comme les véhicules agricoles, émettant ainsi principalement des oxydes d'azote et des particules. Des prescriptions plus sévères en matière de gaz d'échappement permettront de réduire les émissions de polluants atmosphériques.

Par rapport à la circulation routière, les émissions du trafic ferroviaire, de la navigation et de l'aviation sont de moindre importance. Les émissions de polluants atmosphériques liées aux processus de combustion devraient continuer de reculer dans le trafic ferroviaire et la navigation (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/sources-de-polluants-atmospheriques.html>).

Installations de combustion et chauffage

Les installations de combustion et de chauffage de l'industrie, de l'artisanat et des ménages étaient d'importantes sources de polluants atmosphériques. Les progrès techniques ont permis de réduire fortement la pollution dans ce domaine depuis les années 1990. Les chauffages au bois restent problématiques en raison des grandes quantités de poussières fines et de polluants atmosphériques qu'ils émettent (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/sources-de-polluants-atmospheriques.html>).

Industrie

Les processus industriels et artisanaux émettent toutes sortes de polluants, notamment des dioxydes d'azote et de soufre, des poussières et des composés organiques volatils (COV). Les émissions peuvent provenir directement de la combustion de pétrole, de charbon ou de gaz, ou consister en des émissions liées aux processus. Depuis le début des années 1990, les émissions de COV ont beaucoup diminué, notamment grâce à la réduction de la teneur en COV des couleurs et des vernis (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/sources-de-polluants-atmospheriques.html>).

Agriculture

L'agriculture est la principale source d'émissions d'ammoniac, ainsi que de méthane et de protoxyde d'azote (ou gaz hilarant), qui sont des gaz à effet de serre. L'ammoniac porte atteinte aux écosystèmes sensibles, et les gaz à effet de serre nuisent au climat. Entre 1990 et 2000, les émissions d'ammoniac ont reculé, mais elles stagnent depuis lors. L'évolution est similaire pour le méthane et le gaz hilarant (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/sources-de-polluants-atmospheriques.html>).

I.4. Météorologie et pollution atmosphérique

Les facteurs météorologiques influencent directement le transfert et la dilution des polluants dans l'atmosphère. Ce rôle peut être positif ou négatif sur la pollution selon l'état de turbulence de l'air et la configuration géométrique des espaces considérés.

- Le vent détermine les zones affectées (par sa direction) et le degré de dilution (sa vitesse)
- La température détermine le degré de stabilité de l'atmosphère et joue un rôle dans la dispersion verticale de la pollution ; elle influe également sur la vitesse des réactions chimiques des polluants dans l'atmosphère.
- La pression atmosphérique, lorsqu'elle est élevée, caractérise en général une grande stabilité atmosphérique.
- L'ensoleillement favorise les phénomènes locaux de convection thermique et les réactions photochimiques de formation d'ozone en période estivale.
- Les précipitations ont un rôle de lessivage de l'atmosphère par entraînement des polluants au sol (Honner, 2006).

I.5. Impacts de la pollution atmosphérique

Les impacts de la pollution atmosphérique concernent à la fois la santé humaine, les effets sur les végétaux et les matériaux. Ces impacts peuvent également être planétaires en lien avec la durée de vie et les propriétés physico-chimiques de certains gaz (Honner, 2006).

I.5.1. Effets sur la santé humaine

Le type de manifestation et les concentrations pour lesquelles un effet sanitaire est perceptible dépendent de la nature du polluant. La dose de polluant reçue par l'organisme dépend de la concentration du polluant, de la durée d'exposition et de l'activité physique.

Les études ont montré qu'il existe un lien entre la pollution atmosphérique et la santé : excès de risque de mortalité cardio-respiratoire, aggravation de maladies (asthme, insuffisance cardiaque ou respiratoire...). Ces impacts sanitaires sont mesurés avec des teneurs en polluants inférieures aux normes, sans effet de seuil. A de fortes concentrations, certains effets aigus sont visibles. Les plus courants, produits par exemple par l'ozone, se manifestent par des irritations du nez, des yeux ou de la gorge provoquant une gêne respiratoire, des bronchites ou des déclenchements de crises d'asthme (Honner, 2006).

I.5.2. Effets sur la végétation

La pollution peut avoir des effets directs et des effets indirects sur la végétation :

- l'oxydation par l'ozone O_3 a un effet phytotoxique direct : des concentrations faibles en ozone provoquent une baisse de rendement des cultures, alors que des concentrations fortes entraînent l'apparition de nécroses sur les feuilles des plantes.
- l'acidification des sols (H_2SO_4 , HNO_3 ...) entraîne un lessivage des nutriments (éléments minéraux,...) des sols déjà pauvres (granitiques...) pouvant entraîner des carences et pour les sapins un jaunissement des aiguilles (Honner, 2006).

I.5.3. Effets sur les matériaux

Les effets de la pollution sur les matériaux de construction (pierre, béton et métaux) sont variés.

La pollution acide directe (HCl , NO_x , SO_2), ou indirecte (formation de cristaux de gypse avec les particules et l'acide sulfurique) a une action corrosive renforcée par les facteurs climatiques (pluies, gel...). L'ozone, polluant secondaire, attaque les matières polymères et plastiques tels que les pneus et les peintures.

I.5.4. Effets planétaires

Le trou d'ozone

L'ozone est un composé rare dans l'atmosphère « concentré » à 90% dans « la couche d'ozone » entre 10 et 50 km dans la stratosphère. Le reste se trouve au niveau du sol. L'ozone stratosphérique est bénéfique en absorbant une partie du rayonnement ultraviolet du soleil. Au printemps, au-dessus des pôles (pôle sud essentiellement), la couche d'ozone s'appauvrit jusqu'à 60% : c'est le trou d'ozone. La production par l'homme d'halocarbures libérant des atomes de chlore et de brome est responsable de sa destruction. Les mesures réglementaires prises dans le cadre du protocole de Montréal (1987) et des amendements de Londres,

Copenhague et Vienne (1990, 1992, 1995) conduisent aujourd'hui à un ralentissement de la croissance de ces composés dans l'atmosphère.

Le réchauffement climatique

Le climat de la terre a toujours varié en lien avec des phénomènes naturels (soleil, éruption volcanique, axe de rotation de la terre...) ; mais depuis 150 ans, ces modifications se sont accélérées avec une augmentation des températures moyennes (+0,6°C depuis 1860). La cause de ce réchauffement est liée à l'augmentation de gaz dans l'atmosphère provoquant un dérèglement de l'Effet de Serre . Ces gaz, responsables de cet effet de serre additionnel, sont issus des activités humaines (combustion fossile, élevage...).

Pour demain, si les modèles climatiques prévoient une augmentation globale des températures de 1 à 6 °C d'ici 2100, l'ampleur des conséquences (économique, sanitaire et agricole...) est encore mal évaluée (Valentine Honner, 2006).

I.6. Devenir des particules dans l'environnement

Les particules émises sont dispersées dans l'atmosphère et/ou déposées dans l'environnement tout en subissant éventuellement des modifications physico-chimiques le principal facteur impliqué dans ces deux processus transfert et transformation et la météorologie qui joue sur des phénomènes de turbulence et d'irradiation.

I.6.1. Transfert des polluants

Dans la troposphère ont lieu des mouvements d'air horizontaux les mouvements horizontaux (brise) influent sur la dispersion des polluants à l'échelle locale. le mouvement verticale de l'air donc des polluants peu quant à lui être annulé par la couche d'inversion de température (couche supérieure d'air plus froide qui forme une sorte de couvercle s'opposant à la dispersion verticale des polluants, lesquelles s'accumulent alors en basses couches).

I.6.2. Transformation des polluants

L'atmosphère peut être considérée comme un immense compartiment réacteur chimique et photochimique. Diverses transformations des polluants de primaires en secondaires, contribuent à son auto-épuration mais ce mécanisme se traduit par la nuisance d'espèces chimiques plus ou moins réactives sur les plans physico-chimique et biologique.

La formation d'ozone troposphérique associée à celle de nombreuses autres espèces constitue un phénomène de plus en plus important et préoccupant, il s'agit d'un processus photochimique (rayonnement UV, longueur d'onde supérieure à 290 nm) mettant en jeu des composés carbonés (HC, COV, CO) et les NO_x.

Il correspond au dérèglement d'un équilibre production-destruction d'O₃ lié à la photolyse du NO₂ par des sous-produits oxydés des composés carbonés, issus pour une bonne part de la circulation automobile. Le phénomène est plus ou moins important selon l'ensoleillement et les concentrations respectives en NO_x et HC-COV. Cette forme de pollution se manifeste au niveau régional, et la concentration en O₃ est détectée à plusieurs dizaines de km sous les vents des villes émettrices.

Il résulte de ce phénomène une grande hétérogénéité spatio-temporelle de l'air urbain et les niveaux de pollution se révèlent difficiles à quantifier et à comparer d'une agglomération à l'autre, d'un pays à l'autre, d'une époque à l'autre (Ferfar, 2003).

I.6.3. Dispersion des polluants

Les concentrations, en polluant dans l'atmosphère, peuvent fluctuer dans le temps et dans l'espace comme suit:

- L'intensité des émissions des différentes activités varie dans le temps : en hiver, le chauffage est important, le trafic routier est quasiment nul la nuit...
- La topographie locale peut favoriser ou non le déplacement des masses d'air.
- Les conditions météorologiques : une atmosphère stable limite la dispersion des polluants et favorise les pics de pollution.
- La structure thermique de l'atmosphère : une inversion thermique de température limite la dispersion des polluants (Ferfar, 2003).

II. Pollution par les particules aéroportées

II.1. Introduction

Les particules sont des entités solides ou liquides, en suspension dans l'air; elles forment avec celui-ci un aérosol (poussières, fumées, suies, brumes, brouillards, smog). Elles peuvent avoir des compositions, densités, formes et dimensions très diverses, selon leur mode de formation. Elles sont principalement caractérisées par leur diamètre aérodynamique, variant de 0,02 μm à 100 μm , pour les particules atmosphériques. Ce diamètre est défini comme étant celui d'une hypothétique particule sphérique, de densité unitaire, qui aurait les mêmes caractéristiques aérodynamiques que la particule concernée (Seraghni, 2007).

II.2. Classification des particules selon leurs tailles

En raison des différents effets sur la santé associés à des particules de différents diamètres, la matière particulaire est donc caractérisée selon sa taille. Avec des tailles de particules couvrant une gamme allant de quelques nanomètres, à plus de 100 μm , plusieurs classes de particules se distinguent en littérature, en fonction de leurs tailles.

II.2.1. Les PM_{10}

Ce sont des particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 μm et qui peuvent pénétrer dans l'appareil respiratoire jusque dans les voies aériennes supérieures.

II.2.2. Les $\text{PM}_{2,5}$

Ce sont des particules fines dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2,5 μm et qui peuvent parcourir l'appareil respiratoire jusqu'aux alvéoles pulmonaires.

II.2.3. Les $\text{PM}_{0,1}$

Ce sont des particules ultrafines ou nanoparticules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 0,1 μm , qui sont des particules d'origine anthropique non contrôlée. Leur taille, inférieure aux structures cellulaires, leur confère des propriétés de pénétration au niveau cellulaire (Terrouche et al., 2016).

II.3. Sources d'émission des particules

II.3.1. Sources naturelles

Les sources naturelles d'aérosols sont multiples et produisent des types de particules très variés.

Cependant, ce sont les zones arides et les océans qui produisent naturellement la majorité des aérosols présents dans l'atmosphère. Ces aérosols sont formés par des processus mécaniques de dispersion du substrat, qu'il soit terrigène ou marin.

Les poussières terrigènes

Le sol est constitué d'un fond géochimique correspondant à la teneur naturelle ou originelle en éléments traces ($<1\text{g.kg}^{-1}$) trouvée dans les sols en absence d'apport ou d'exportation. Cette présence n'est pas pour autant uniforme. Les teneurs en éléments traces d'un sol sont liées aux propriétés et à la nature de la roche mère et au climat. Ces composés minéraux ainsi exposés sont chimiquement et mécaniquement altérés par l'action combinée du vent, de l'eau et des variations de température. Cette altération permet de mettre en suspension des particules d'un diamètre supérieur à $0,1\mu\text{m}$ constituées d'un assemblage de minéraux dépendant du sol érodé, mais principalement composées d'argiles, de quartz et de calcite.

Les sels de mer

Le vent soufflant à la surface des océans crée des vagues qui sont responsables de la formation des particules d'aérosols d'origine marine. D'une part, les vagues produisent à leur crête des gouttelettes, dont les plus fines restent en suspension dans l'air et finissent par s'évaporer donnant naissance à des aérosols solides. D'autre part, l'éclatement des bulles produit par l'entraînement d'air lors du déferlement de la vague produit des particules atmosphériques. L'ensemble de ces processus produit des particules solides de diamètre supérieur à $0,2\mu\text{m}$. Ces sels de mer sont principalement constitués de halite (NaCl), le plus abondant sel de l'océan auquel sont associés d'autres éléments. Cependant, la composition chimique exacte des particules de sels de mer reste relativement locale puisqu'elle découle de la composition de l'eau de l'océan dans la zone émettrice.

Les particules volcaniques

L'un des principaux phénomènes naturels émetteur d'aérosols est le volcanisme. Sous le vocable volcanisme, nous incluons l'ensemble des phénomènes physico-chimiques qui participent au transfert de la matière, de la terre vers l'atmosphère, par le biais de volcans aériens ou marins.

Cependant, il existe d'autres phénomènes physiques naturels permettant la diffusion de particules dans l'atmosphère tels les feux de forêts, de biomasses ou de cultures ou bien encore les sources thermales.

II.3.2. Les sources anthropiques

Deux types de sources anthropiques peuvent être distingués. D'une part, les activités émettant directement vers l'atmosphère (aérosols primaires) comme par exemple l'abrasion des pneumatiques et des plaquettes de frein ou encore les cimenteries. D'autre part, les particules

formées par conversion gaz/particule (aérosols secondaires) qui représentent la majorité des aérosols d'origine anthropique. Cette conversion, qui intervient lors de tous les processus de combustion à haute température tels les moteurs automobile, les usines d'incinération ou les centrales thermiques, peut être effectuée de deux façons différentes: la nucléation homogène ou hétérogène de vapeur.

La nucléation homogène de vapeur se passe au niveau des produits de combustion. Cela concerne principalement les gaz de faible température d'ébullition qui se trouvent en supersaturation. Les vapeurs émises condensent sous forme de gouttes ou de particules après avoir réagi ou non en phase gazeuse. Les composés typiquement impliqués dans ces mécanismes sont les suies, les huiles, l'acide sulfurique, les sulfates ou encore les carbonates. Les particules formées recouvrent une large gamme de taille avec cependant un diamètre majoritairement inférieur 0,1 μm .

La nucléation hétérogène de vapeur implique des particules d'aérosols préexistantes. Les éléments les plus volatils présents en phase gazeuse lors du processus de combustion se condensent à la surface des particules déjà présentes dans le milieu lors de la diminution de la température. La taille de ces particules dépend de la quantité de matière ajoutée à l'aérosol initial mais cependant, elle est en général comprise entre 0,1 et 2 μm (Azimi, 2004).

II.4. Les éléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques (ETM) correspondent aux éléments métalliques qui sont présents dans la croûte terrestre à des concentrations inférieures à 0,1% soit 1000 mg.kg⁻¹. Ils sont fréquemment désignés par le terme « métaux lourds » en raison de la forte masse atomique de certains d'entre eux, ou bien « métaux toxiques » du fait de leur caractère toxique. La plupart des ETM ne sont que très faiblement volatils et ne sont pas biodégradables. Ces deux principales caractéristiques confèrent aux ETM un grand pouvoir d'accumulation dans tous les compartiments de la biosphère.

Les ETM sont diffusés vers l'atmosphère lors de processus naturels comme l'érosion éolienne, les activités volcaniques, les embruns marins et les feux de forêts. Cependant, les activités anthropiques telles que la combustion de combustibles fossiles, l'incinération des ordures ménagères et industrielles, les industries du ciment et les fonderies, l'entretien des routes, le chauffage et le trafic automobile (combustion du carburant), la corrosion des véhicules, l'abrasion des freins et pneumatiques et la dégradation des pots catalytiques ont conduit à une augmentation de leurs concentrations dans les compartiments environnementaux (air, eau, sol).

Parmi les différents éléments métalliques émis dans l'environnement lors des activités anthropiques, le zinc, le plomb, le chrome, le cadmium, le cuivre et le nickel sont les plus couramment mesurés dans les études environnementales en raison de la diversité des sources d'émission. Nous présentons dans les paragraphes suivants les principales sources d'émission des ETM sélectionnés :

Le cadmium

Il est rencontré dans la nature dans les minerais de zinc. Le cadmium est un sous-produit important de la métallurgie du zinc. Les principaux secteurs d'utilisation sont les batteries nickel-cadmium (70%), les pigments (13%), la galvanoplastie (8%) et les stabilisants (7%). Moins de 5% de la quantité de cadmium utilisée par l'industrie est recyclée. C'est-à-dire que la quasi-totalité du cadmium d'origine anthropique est disséminée dans l'environnement.

Les apports de cadmium au milieu naturel sont liés à l'industrie du zinc, à la combustion du charbon, à la sidérurgie et à la fabrication et l'utilisation des engrais phosphatés.

Le chrome

L'industrie métallurgique est la plus importante utilisatrice de chrome. 80% du Cr extrait est utilisé pour la fabrication d'alliages ferreux et non-ferreux. Le Cr restant est utilisé dans l'industrie chimique sous forme de dichromates pour le tannage des peaux et des cuirs, comme mordant pour teintures, dans la production de conservateurs alimentaires, et comme colorant sous forme de sels de chrome.

Le nickel

Le nickel est un élément métallique très répandu dans la croûte terrestre. Il est largement utilisé pour la fabrication de l'acier inoxydable et pour la production d'alliages (74%). Les autres formes d'utilisation sont les traitements de surfaces (10%), les batteries nickel-cadmium et les catalyseurs nickel-aluminium. Les sources naturelles telles que la combustion du charbon, les feux de forêts, les volcans, et les sources anthropiques comme l'utilisation des combustibles fossiles et la production de métaux non-ferreux sont considérées comme les principales sources d'émission du nickel dans l'environnement.

Le plomb

Un élément amplement répandu dans la croûte terrestre, le plomb est un des métaux les plus utilisés dans l'industrie. En France, les principaux secteurs d'utilisation industrielle sont les accumulateurs (67%) et les oxydes de plomb dans l'industrie chimique (12%). Jusqu'à

l'année 2000, le plomb, sous forme tétraéthyle, a été largement utilisé dans les carburants comme antidétonant. Cette dernière décennie, les émissions de plomb dans l'environnement ont fortement diminué suite à la généralisation de l'utilisation d'essence sans plomb. En milieu urbain, les peintures à base de plomb sont encore des sources de relargage de plomb, de même que les systèmes de canalisations très anciens.

Le plomb est aussi utilisé comme adjuvant dans les PVC et on le retrouve dans l'eau de consommation.

Le zinc

Il est naturellement présent dans la nature, principalement sous forme de sulfure. La métallurgie utilise beaucoup de zinc lors de la fabrication d'alliages. Il est également utilisé pour la galvanisation de pièces métalliques, dans la fabrication de pigments pour la teinture, dans les vernis, comme raticide et enfin dans la fabrication de produits phytosanitaires. Les apports de zinc au milieu naturel sont particulièrement dus à la métallurgie (production de métaux non-ferreux, industrie du fer et de l'acier) et à la combustion des bois et des charbons

Le cuivre

Ce métal est présent dans la nature principalement sous forme de minerais de cuivre. Il s'agit d'un métal « essentiel ». Le cuivre est très utilisé dans l'industrie pour son excellente conductivité thermique et électrique. Il entre aussi dans la composition de nombreux alliages (laiton, bronze, maillechort). Sous forme de sels de cuivre, il est utilisé comme fongicide ou algicide en agriculture, pour les traitements chimiques de surface, le tannage des peaux, entre autres. L'industrie électrique, très consommatrice de cuivre, en rejette de grandes quantités dans les rivières et l'atmosphère dont l'ultime réceptacle est l'océan. De plus, l'utilisation d'oxydes de cuivre comme matière active dans certaines peintures anti salissures constitue une source importante de cuivre en zone portuaire. (Azimi, 2004).

II.5. Retombées atmosphériques

II.5.1. Dépôt des particules

La mesure des flux de retombées atmosphériques est d'une grande importance afin de connaître les quantités d'éléments se déposant sur les différents milieux récepteurs (Azimi, 2004). Néanmoins, avant de procéder à cette évaluation quantitative, il semble nécessaire d'étudier les mécanismes de dépôt des particules qui dépendent de leurs tailles et leurs masses volumiques.

La diffusion brownienne : Les particules très fines (typiquement des particules de taille inférieure au dixième de micromètre) sont mises en mouvement par les molécules du gaz porteur soumises à l'agitation thermique. A plus grande échelle, le phénomène est décrit par une loi de diffusion. Ainsi, les particules diffusent vers la surface de l'obstacle. Le facteur limitant cette forme de dépôt est le transfert à travers la couche limite entourant l'obstacle.

L'interception : Ce processus intervient lorsque les particules sont de faible inertie mécanique, elles suivent parfaitement les lignes de courant de l'écoulement moyen, passent à proximité d'un obstacle et sont retenues. L'importance de l'interception est liée au rapport de la taille des particules et de la taille de l'obstacle.

L'impaction : Un aérosol, transporté par un écoulement qui se dirige sur un obstacle peut, lorsque son inertie est trop grande, ne pas suivre les changements de direction de l'écoulement à proximité de l'obstacle et ainsi l'impacter. L'influence de l'inertie de la particule se fait sentir lorsque la taille des aérosols est proche du micromètre.

La sédimentation : Une particule en chute libre est soumise à la gravité et à la force dégrainée. Lorsque l'équilibre de ces forces est atteint, la vitesse limite de la particule est nommée vitesse terminale de chute ou vitesse de sédimentation (VTS en $m.s^{-1}$). Les particules proches d'une surface se déposent alors sous l'action conjuguée des mécanismes physiques évoqués précédemment (Percot, 2013).

II.5.2. Techniques de collecte des retombées atmosphériques

Les techniques de collectes varient suivant le type de retombées qui doit être échantillonné. La technique la plus simple concerne la collecte des retombées totales qui représentent l'ensemble des retombées atmosphériques humides et des particules sèches sédimentées échantillonnées à l'aide d'un collecteur exposé à l'air ambiant (Percot, 2013). La figure 1 résume le processus et les définitions des retombées atmosphériques (Pascaud, 2013).

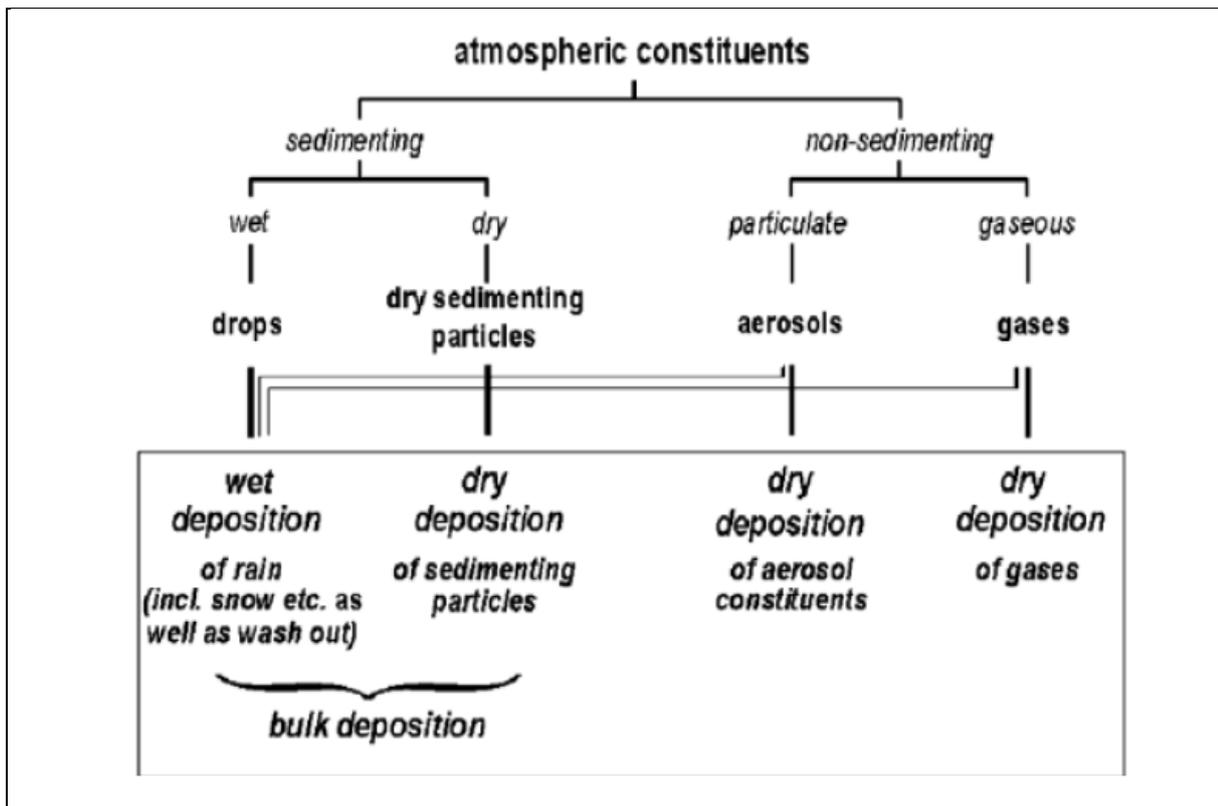


Figure 1. Différenciation conceptuelle des retombées atmosphériques (Pascaud, 2013).

En anglais, le terme « wet only » est utilisé pour exprimer les mesures de retombées atmosphériques humides, le terme « dry » pour les mesures de retombées atmosphériques sèches et le terme « bulk » pour les mesures de retombées atmosphériques totales (Pascaud, 2013).

**2^{ème} PARTIE: Echantillonnage et analyse des
retombées atmosphériques**

I. Principe de la méthode (jauge de précipitation):

Le collecteur est un récipient de forme cylindrique avec une surface de 0,071 m². Le principe consiste à exposer le collecteur, contenant environ 10 litres de l'eau distillée, à l'air libre pendant 1 mois. Les eaux de pluie et les poussières sédimentables sont recueillies dans le collecteur.

II. Prélèvements

II.1. Choix des sites

Un réseau de prélèvement, comprenant 10 sites, est installé autour la ville de Didouche Mourad. Les collecteurs sont installés sur des toits, ou terrasses inaccessibles, et loin des cheminées afin d'éviter de fausser les résultats de l'étude par une source ponctuelle proche du poste.

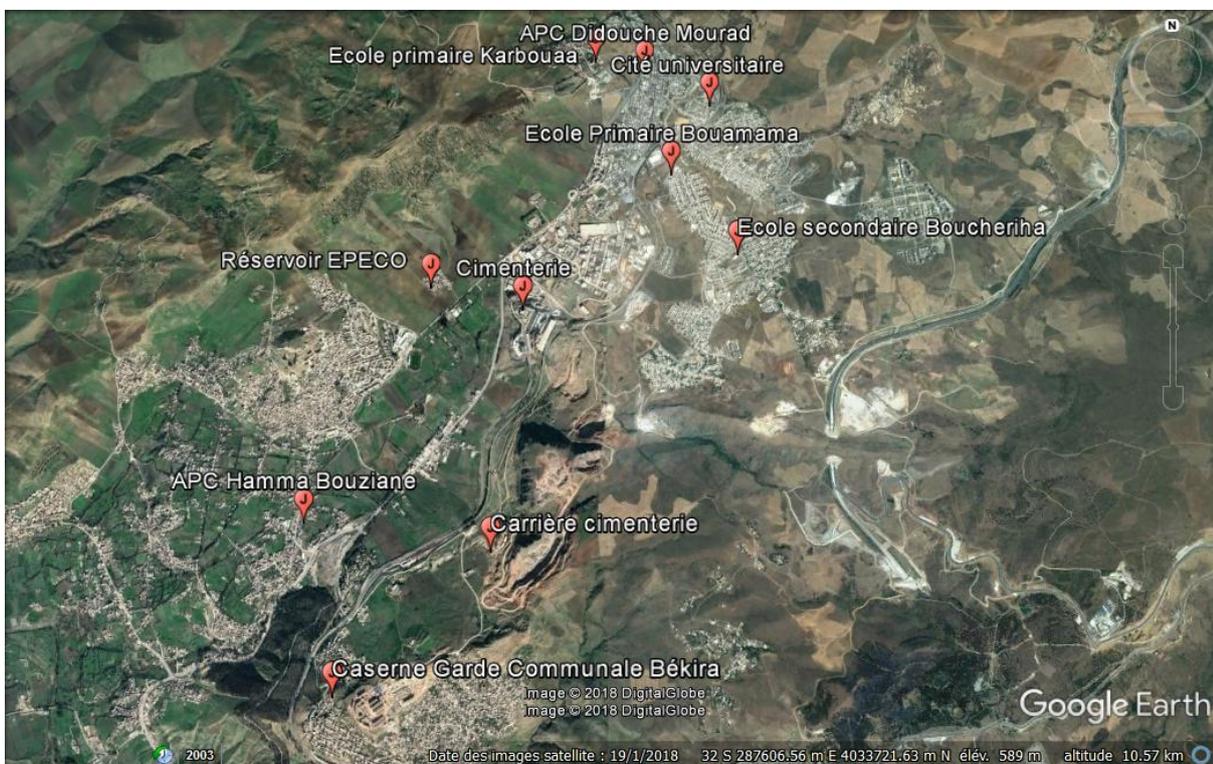


Figure 2. Topographie du cite de prélèvements

Les coordonnées UTM des jauges sont illustrées dans le tableau 1.

Tableau 1. Localisation des jauges

Sites	N° de Poste	Position	
		Est	Nord
Cimenterie DJ, T (unité)	1	286750	4034532
Cimenterie DJ, T (carrière)	2	286593	4032558
APC Didouche Mourad	3	288078	4036896
APC Hamma Bouziane	4	284607	4032626
Ex caserne (garde communale), Bekira	5	284896	4030968
Réservoir EPECO, HB	6	285680	4035024
Ecole primaire B, Ab, DM	7	287558	4037045
Ecole secondaire BB, DM	8	288883	4034931
Cité universitaire, DM	9	289321	4035468
Cité 125 logts, DM	10	288123	4037015

II.2. Collecte

La collecte des échantillons se fait chaque mois (± 2 jours) et ceci pour les 10 sites étudiés. L'eau des jauges est ramenée au laboratoire pour subir différents traitements et analyses. La figure 3 montre l'organigramme des différentes étapes de traitement et d'analyse des échantillons.

III. Traitement des échantillons

III.1. Préparation des échantillons

On procède au début, à la filtration de chaque échantillon avec du papier filtre (M.C.E 0,4 μ m) (millipore en ester de cellulose). Le filtrat recueilli est soumis à une lecture du pH et de la conductivité. Ce filtrat est supposé contenir seulement la partie soluble des retombées. La partie insoluble est soumise à une digestion acide.

III.2. Traitement de la fraction soluble

Dans un bêcher de 400 ml, un volume de 100 ml du filtrat est évaporé à sec dans l'étuve, à une température de 105°C. Le dépôt soluble recueilli au fond du bêcher est solubilisé dans 40 ml d'acide nitrique 1%. La solution obtenue est filtrée puis complétée à 50 ml avec de l'eau distillée, elle est ainsi prête pour l'analyse.

III.3. Traitement de la fraction insoluble

Tous les filtres sont pesés, mis dans un bêcher de 500 ml, contenant 50 ml de HNO₃ (2N) et 50 ml de HCl (2N), avec un temps de digestion de 48 heures. Le contenu du bêcher est filtré, mis dans l'étuve dans le but de réduire son volume à 40 ml, à une température de 80°C. La solution obtenue est complétée à 50 ml avec de l'acide nitrique 1%. La fraction insoluble est prête pour l'analyse (Figure 5).

IV. Analyse des échantillons

Les éléments majeurs (Fe, Cu, k, Ca) et traces (Zn, Cd, Ni, Pb et Cr) ont été analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique.

IV.1. Description du spectromètre d'absorption atomique Shimadzu AA-7000

La spectroscopie d'absorption atomique est une technique qui détermine la présence et la concentration d'un élément dans une solution basée sur le principe de l'absorption de lumière. Chaque élément possède un processus d'absorption propre à lui. La longueur d'onde du faisceau lumineux absorbé nous indique la présence de l'élément tandis que son intensité détermine la concentration. Le spectroscope d'absorption atomique à flamme Shimadzu AA-7000 est l'appareil utilisé dans ce travail (Figure 5).

La source de lumière est appelée : lampe à cathode creuse (HCL : Hollow Cathod Lamp). Chaque élément est analysé à partir d'une lampe spécifique. L'atomiseur peut être une flamme ou un four graphite. La flamme est utilisée pour l'analyse des échantillons avec des concentrations de l'ordre du ppm alors que le four graphite est utilisé pour déterminer des concentrations de l'ordre du ppb. Le monochromateur est utilisé pour séparer les longueurs d'ondes du faisceau lumineux. Ainsi, le détecteur peut mesurer son intensité.



Figure 5. Shimadzu AA-7000

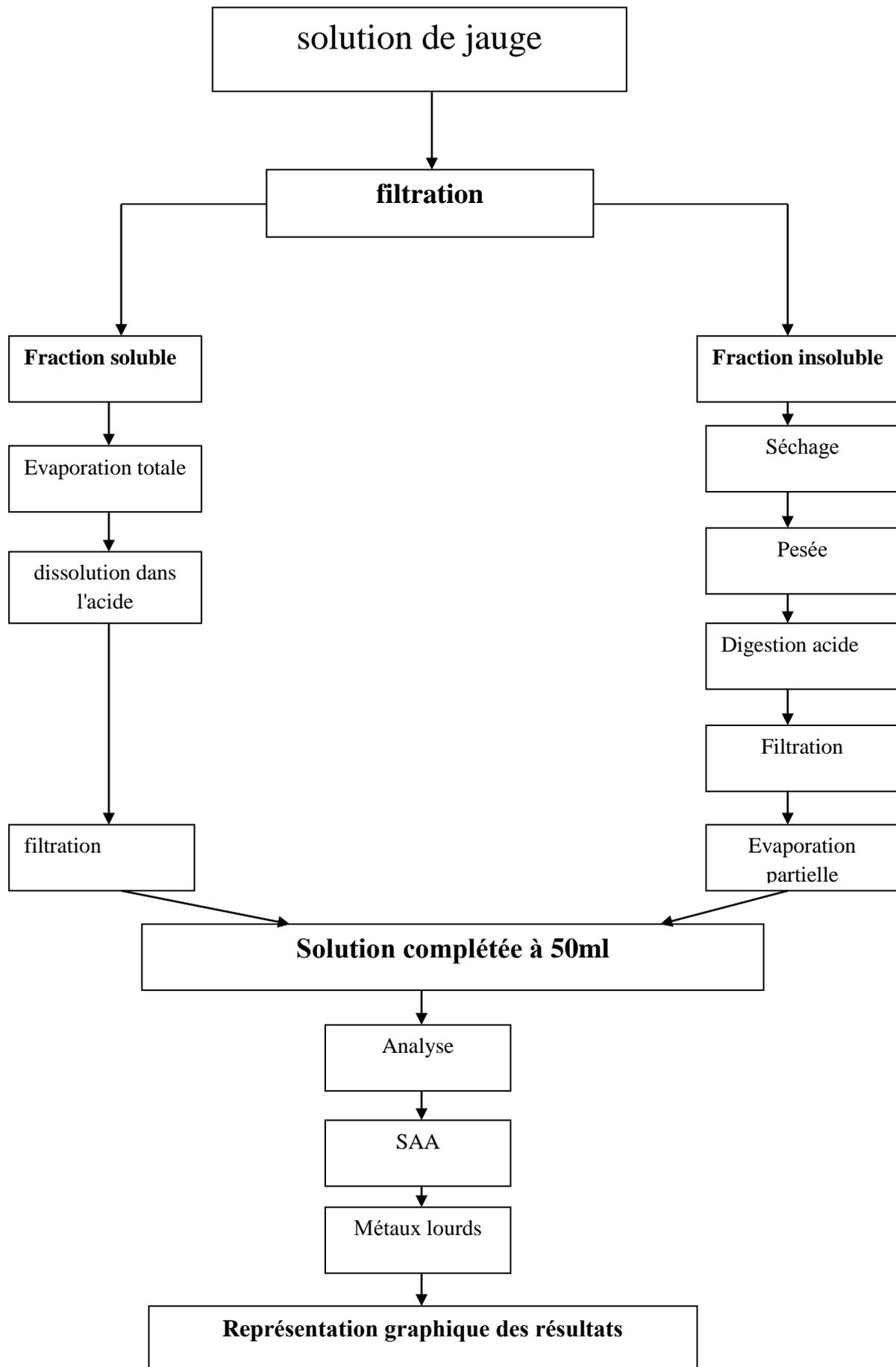


Figure 5. Organigramme récapitulatif de la procédure d'échantillonnage et d'analyse

IV.2. Sensibilité de la méthode

Le tableau 2 indique les seuils de détection de différents éléments métalliques en utilisant le spectroscope d'absorption atomique à flamme de type air/acétylène.

Tableau 2. Seuils de détection de quelques éléments métalliques par la SAAF

L'élément	Le seuil de détection
Ag	0,005
Au	0,02
Bi	0,1
Ca	0,01
Cd	0,003
Co	0,02
Cr	0,01
Cu	0,01
Fe	0,03
K	0,002
Mg	0,001
Mn	0,01
Na	0,001
Ni	0,02
Sn	1
Sr	0,02
Zn	0,002

3^{ème} Partie : Résultats et discussion

I. Roses des vents

Le logiciel WRPLOT a permis de générer les roses des vents des périodes d'étude P1 et P2.

Les figures 6 et 7 résument l'activité éolienne des périodes d'études où les secteurs indiquent la direction de provenance des vents.

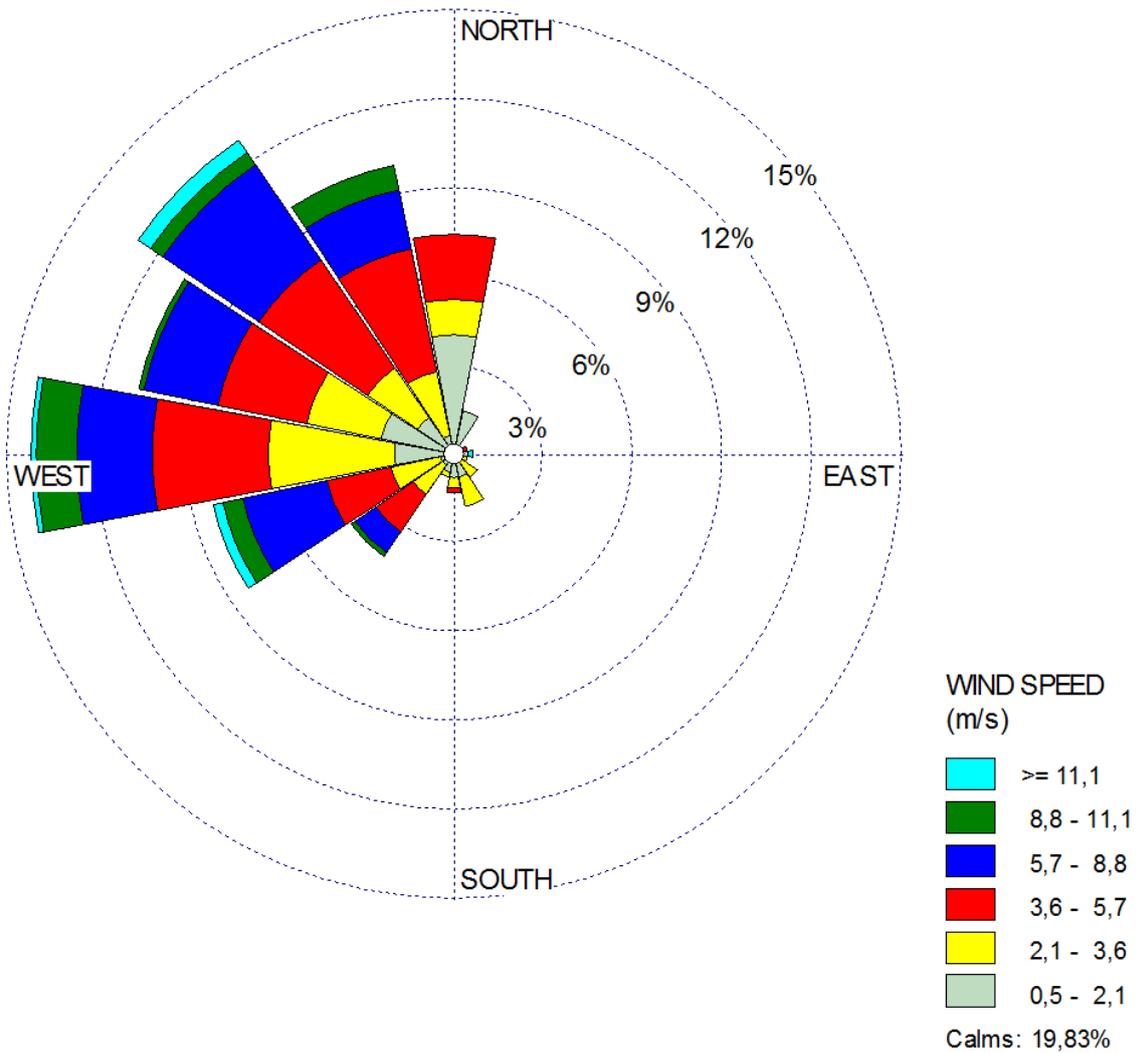


Figure 6. Rose des vents pour la période P1.

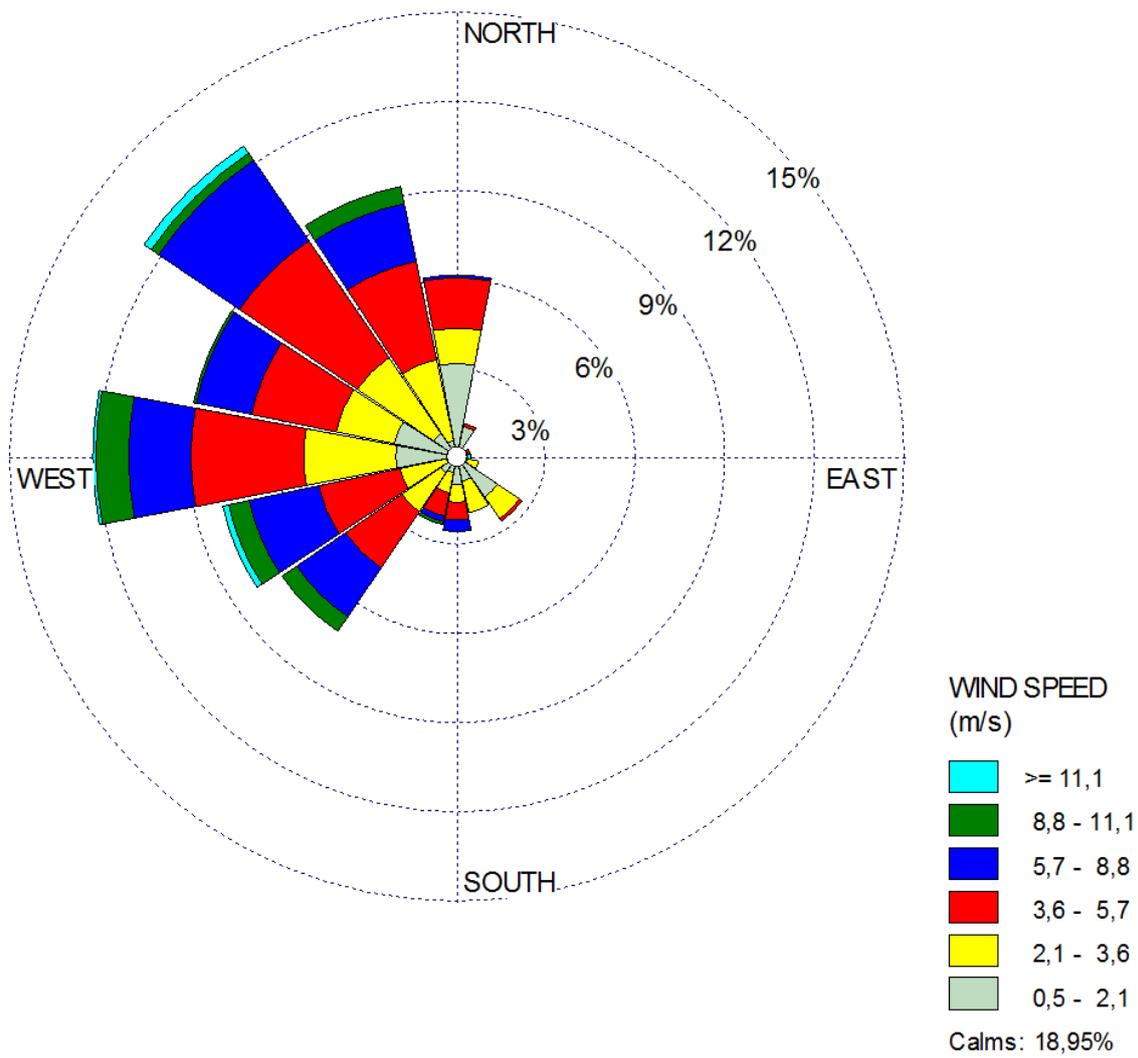


Figure 7. Rose des vents pour la période P2.

II. Présentation des résultats

Le tableau 3 reprend les valeurs des retombées atmosphériques totales des poussières sédimentables et des éléments métalliques suivants : Zn, K, Ca, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb et Cr pour la période s'étalant du 06/11/2017 au 05/12/2017 (P1). Les tableaux 4 et 5 indiquent les fractions insolubles et solubles des éléments métalliques étudiés tandis que le tableau 6 présente les pourcentages des éléments métalliques solubles.

Le tableau 7 reprend les valeurs des retombées atmosphériques totales des poussières sédimentables et des éléments métalliques suivants : Zn, K, Ca, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb et Cr pour la période s'étalant du 06/12/2017 au 27/12/2017 (P2). Les tableaux 8 et 9 indiquent les fractions insolubles et solubles des éléments métalliques étudiés tandis que le tableau 8 présente les pourcentages des éléments métalliques solubles.

III. Evolution temporelle des retombées

Les retombées totales de poussières sédimentables varient entre 34 et 228 mg/m².jour pendant la période P1. Elles varient entre 87 et 1171 mg/m².jour pendant la période P2. D'après la norme allemande " TA LUFT " ou " Instruction technique pour le maintien de la qualité de l'air ", la valeur limite acceptable est de 350 mg/m².j Durant la période P2, cette norme a été dépassée au niveau des trois sites suivants : la cimenterie (1171 mg/m².jour, l'ex caserne de la garde communale (542 mg/m².jour) et la cité 125 logts (564 mg/m².jour).

Les retombées des poussières totales et des éléments métalliques ont augmenté au cours de la période P2 à l'exception du Fe, du Pb et du Cr. Cette augmentation des retombées entre les périodes P1 et P2 est dû à l'arrêt pour maintenance des filtres à manche de la cimenterie pendant la période P2. Les risques de dégradation de la végétation sont réels au niveau de ces sites. La maintenance des filtres à manches induit une hausse conséquente des retombées de Zn, K et Ca passant de 82 à 109 µ/m².jour, 637 à 1012713 µ/m².jour, de 8148 à 19798 µ/m².jour. Les émissions de Zn, K et Ca sont probablement liés aux rejets de la cimenterie.

Paradoxalement, les retombées moyennes de Fe, Pb et de Cr ont diminué du fait que la jauge installée au niveau de la carrière n'a pas été retrouvée au terme de la période P2. Durant la période P1, les dépôts de Fe, Pb et de Cr étaient parmi les plus importants ce qui explique la baisse observée de ces dépôts au cours de P2.

IV. Pourcentage de la fraction soluble

En se référant au tableau 6 qui reprend les valeurs des retombées pour la période P1, on se rend compte que le Ca, Fe, Ni, Pb sont les plus solubles (83% pour Ca et 81% pour Fe, Ni et Pb) suivis des éléments K, Cr, Cu et Zn qui possèdent, étonnement, une solubilité moyenne de 51%, 34%, 28% et 6% respectivement.

Il faut noter que les pourcentages des fractions solubles pour les éléments Fe, Ni et Pb ont des valeurs identiques pour tous les sites étudiés (voir Tableau 4). Cela laisse penser que les apports, d'origine anthropique ou naturelle, renfermant ces éléments couvriraient l'ensemble du réseau de stations de mesure simultanément. Cela est possible dans le cas de sources lointaines ou de la dispersion de poussières émanant de cheminées industrielles, comme celles de la cimenterie, de la briqueterie, biscuiterie, faïenceries, etc., toutes situées dans la zone industrielle de Didouche Mourad. En effet, les poussières rejetées par cette dernière sont riches en fer. D'autre part, la combustion de gaz naturel dans le four de cuisson génère des quantités appréciables de plomb et de Ni dans une moindre mesure. Il en est de même du plomb et des nickels issus du chauffage domestique. Ce sont des éléments caractéristiques de la combustion de gaz naturel. La teneur en Pb et en Ni dans les gaz de combustion est théoriquement constante. Par contre, les autres éléments métalliques auraient des sources plutôt locales, telles que la remise en suspension des poussières et le trafic routier.

Cr, Cu et Zn s'avèrent les moins solubles avec des taux de 34%, 28% et 6% en moyenne respectivement.

Par ailleurs, les éléments métalliques prépondérants dans les retombées de poussières durant la période P1 sont par ordre d'importance décroissante : Ca, Fe, K, Pb, Cr, Zn, Cu, Ni, le cadmium n'étant pas été détecté.

Les éléments métalliques prépondérants dans les retombées de poussières durant la période P2 sont par ordre d'importance décroissante: Ca, K, Fe, Zn, Pb, Cr, Cu et Ni.

Les éléments Ca, K, Fe et Zn sont d'origine terrigène et se retrouvent dans le sol et notamment les carrières d'argile et de calcaire. Les éléments Pb, Cr, Cu et Ni se retrouvent dans les émissions d'origine anthropique telles que la combustion de gaz naturel.

Tableau 3. Retombées atmosphériques **totales** des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P1

N°	Station	Eléments métalliques ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{jour}$)									
		Retombées de PT	Zn	K	Ca	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Cr
1	Cimenterie DJ,T (unité) HB	NV	NV	NV*	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
2	Cimenterie DJ, T (carrière)	79	69	572	7179	0,14	9	2384	7	377	86
3	APC Didouche Mourad	71	71	522	8384	0,22	11	3518	10	93	106
4	APC Hamma Bouziane	111	93	568	7360	0,32	12	3950	15	277	102
5	Caserne Garde Communale Békira	N.V	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
6	Réservoir EPECO HB	55	61	554	5579	0,00	17	3186	9	26	141
7	Ecole primaire Karbouaa, Ab DM	34	67	464	4916	0,43	11	2675	9	70	99
8	Ecole secondaire Boucheriha B, DM	94	104	1175	10684	0,33	87	3965	19	134	98
9	Cité universitaire Oued El Hadjer, DM	91	89	617	6835	2,32	NV	2213	15	237	79
10	Cité 125 logts (Ecole P Bouamama), DM	228	101	626	14245	0,50	20	4612	35	392	96
Moyennes		95	82	637	8148	0,53	24	3313	15	201	101

NV: non valide

Tableau 4. Retombées de la fraction **insoluble** des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P1

N°	Station	Eléments métalliques								
		Zn	K	Ca	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Cr
1	Cimenterie DJ,T (unité) HB	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
2	Cimenterie DJ, T (carrière) HB	68	328	1444	0,14	7	651	2	103	64
3	APC Didouche Mourad	68	227	933	0,22	11	647	2	17	74
4	APC Hamma Bouziane	87	306	1553	0,32	11	704	3	49	67
5	Caserne Garde Communale Békira	N.V	N.V	NV	N.V	N.V	N.V	N.V	N.V	NV
6	Réservoir EPECO HB	60	286	930	0,00	14	575	2	5	99
7	Ecole primaire Karbouaa, Ab DM	52	211	721	0,43	6	462	2	12	63
8	Ecole secondaire Boucheriha B, DM	99	480	1690	0,33	12	645	3	22	56
9	Cité universitaire oued el Hadjer, DM	85	279	962	2,32	10	394	3	42	52
10	Cité 125 logts (Ecole P Bouamama), DM	99	340	2695	0,50	18	759	6	65	62

Tableau 5. Retombées de la fraction **soluble** des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P1

N°	Station	Eléments métalliques ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{jour}$)								
		Zn	K	Ca	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Cr
1	Cimenterie DJ,T (unité) HB	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	N.V
2	Cimenterie DJ, T (carrière) HB	1	244	5735	N.D*	2	1733	5	274	22
3	APC Didouche Mourad	3	295	7452	N.D	0	2871	8	76	32
4	APC Hamma Bouziane	7	262	5806	N.D	2	3247	13	227	35
5	Caserne Garde Communale Békira	NV	NV	NV	N.V	NV	NV	NV	NV	NV
6	Réservoir EPECO HB	1	268	4649	N.D	3	2611	7	21	42
7	Ecole primaire Karbouaa, Ab DM	15	254	4195	N.D	4	2213	8	58	36
8	Ecole secondaire Boucheriha B, DM	6	695	8994	N.D	76	3320	16	112	43
9	Cité universitaire Oued El Hadjer, DM	4	338	5873	N.D	NV	1819	12	195	26
10	Cité 125 logts (Ecole P Bouamama), DM	2	286	11550	N.D	2	3853	29	328	34

ND: non détecté

Tableau 6. Pourcentage des éléments métalliques solubles (%)

N°	Station	Eléments métalliques (%)								
		Zn	K	Ca	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Cr
1	Cimenterie DJ,T (unité) HB	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
2	Cimenterie DJ, T (carrière) HB	1	43	80	ND	24	73	73	73	26
3	APC Didouche Mourad	4	57	89	ND	2	82	82	82	30
4	APC Hamma Bouziane	7	46	79	ND	15	82	82	82	34
5	Caserne Garde Communale	NV	NV	NV	ND	NV	NV	NV	NV	NV
6	Réservoir EPECO HB	2	48	83	ND	17	82	82	82	30
7	Ecole primaire Karbouaa, Ab DM	22	55	85	ND	41	83	83	83	36
8	Ecole secondaire Boucheriha B,	5	59	84	ND	87	84	84	84	43
9	Cité universitaire Oued El Hadjer,	4	55	86	ND	NV	82	82	82	33
10	Cité 125 logts (Ecole P	2	46	81	ND	11	84	84	84	36
	Moyennes	6	51	83	ND	28	81	81	81	34

Tableau 7. Retombées atmosphériques totales des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P2

N°	Station	Eléments métalliques ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{jour}$)									
		Retombées totales	Zn	K	Ca	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Cr
1	Cimenterie DJ,T (unité) HB	1171	131	3218	96336	1	45	1227	22	59	61
2	Cimenterie DJ, T (carrière) HB	N.V	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV
3	APC Didouche Mourad	234	99	818	12010	ND	22	975	6	49	50
4	APC Hamma Bouziane	125	95	516	6899	ND	11	807	6	12	67
5	Caserne Garde Communale Békira	542	109	822	12312	ND	19	923	29	24	156
6	Réservoir EPECO HB	210	152	500	8929	ND	36	901	16	14	94
7	Ecole primaire Karbouaa, Ab DM	87	102	621	8502	ND	18	925	10	17	53
8	Ecole secondaire Boucheriha B, DM	231	102	1065	12134	ND	16	967	8	30	50
9	Cité universitaire Oued El Hadjer,	151	79	784	8755	ND	13	920	7	12	63
10	Cité 125 logts (Ecole P Bouamama),	564	112	761	12307	ND	35	1001	11	62	56
Moyennes		368	109	1012	19798	0,1	24	961	13	31	43

Tableau 8. Retombées de la fraction insoluble des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P2

N°	Station	Eléments métalliques ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{jour}$)									
		Zn	K	Ca	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Cr	
1	Cimenterie DJ,T (unité) HB	131	2393	87373	0,63	44	1040	15	59	45	
2	Cimenterie DJ, T (carrière) HB	N.V	N.V	NV	NV	N.V	N.V	N.V	N.V	NV	
3	APC Didouche Mourad	99	399	3276	0,26	21	908	5	49	40	
4	APC Hamma Bouziane	85	222	995	0,00	10	778	3	12	51	
5	Caserne Garde Communale Békira	109	569	3446	0,31	19	881	25	22	34	
6	Réservoir EPECO HB	123	255	1383	0,00	33	803	9	14	57	
7	Ecole primaire Karbouaa, Ab DM	102	425	1620	0,17	18	879	7	17	41	
8	Ecole secondaire Boucheriha B. DM	102	544	3413	0,14	15	932	5	30	31	
9	Cité universitaire oued el Hadjer, DM	79	583	1204	0,31	12	879	4	12	44	
10	Cité 125 logts (Ecole P Bouamama), DM	112	486	3982	0,71	35	971	9	60	33	

Tableau 9. Retombées de la fraction **soluble** des poussières sédimentables et des éléments métalliques pour la période P2

N°	Station	Eléments métalliques								
		Zn	K	Ca	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Cr
1	Cimenterie DJ,T (unité) HB	NV	825	8963	0	1	187	6	ND	16
2	Cimenterie DJ, T (carrière) HB	N.V	NV	NV	N.V	N.V	N.V	N.V	N.V	NV
3	APC Didouche Mourad	0	420	8734	N.D	1	67	1	N.D	10
4	APC Hamma Bouziane	10	294	5905	N.D	1	30	2	N.D	16
5	Caserne Garde Communale Békira	0	253	8865	N.D	0	42	4	2	122
6	Réservoir EPECO HB	29	245	7545	N.D	3	98	7	N.D	37
7	Ecole primaire Karbouaa, Ab DM	0	197	6882	N.D	1	46	3	N.D	12
8	Ecole secondaire Boucheriha B, DM	0	521	8721	N.D	1	35	3	1	19
9	Cité universitaire Oued El Hadjer, DM	0	201	7551	N.D	0	40	3	N.D	19
10	Cité 125 logts (Ecole P Bouamama), DM	0	275	8325	N.D	0	30	2	2	23

Tableau 10. Pourcentage des éléments métalliques solubles (%)

N°	Station	Eléments métalliques (%)								
		Zn	K	Ca	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	Cr
1	Cimenterie DJ,T (unité) HB	NV	825	8963	ND	1	187	6	ND	16
2	Cimenterie DJ, T (carrière) HB	N.V	NV	NV	N.V	N.V	N.V	N.V	N.V	NV
3	APC Didouche Mourad	0	420	8734	N.D	1	67	1	N.D	10
4	APC Hamma Bouziane	10	294	5905	N.D	1	30	2	N.D	16
5	Caserne Garde Communale Békira	0	253	8865	N.D	0	42	4	2	122
6	Réservoir EPECO HB	29	245	7545	N.D	3	98	7	N.D	37
7	Ecole primaire Karbouaa, Ab DM	0	197	6882	N.D	1	46	3	N.D	12
8	Ecole secondaire Boucheriha B, DM	0	521	8721	N.D	1	35	3	1	19
9	Cité universitaire Oued El Hadjer, DM	0	201	7551	N.D	0	40	3	N.D	19
10	Cité 125 logts (Ecole P Bouamama), DM	0	275	8325	N.D	0	30	2	2	23
Moyennes		5	359	7944	0	1	64	4	2	30

Tableau 11. Retombées moyennes des poussières **sédimentables**, des éléments métalliques et des paramètres météorologiques

06-11-2017 au 05-12-2017	µg/m ² .jour	Paramètres météorologiques		06-12-2017 au 27-12-	µg/m ² .jour	Paramètres météorologiques	
Retombées totales	95,17	Vitesse du vent (m/s)	2,95	Retombées totales	368,32	Vitesse du vent (m/s)	2,79
Zn	77,53	Température (°C)	8,58	Zn	105,50	Température (°C)	7,13
K	331,67	Pt rosée °C	3,81	K	712,79	Pt de rosée °C	3,40
Ca	1,89	Précipitations totales (mm)	86,25	Ca	13,18	Précipitations totales	34,25
Cd	ND			Cd	0,63		
Cu	11,97			Cu	23,30		
Fe	804,36			Fe	907,36		
Ni	3,52			Ni	9,61		
Pb	54,04			Pb	42,79		
Cr	101			Cr	43		

V. Classement des sites en termes de contamination par les poussières et les métaux toxiques

Les flux des retombées des poussières sédimentables et des éléments métalliques toxiques sont consignés dans les tableaux 12 à 16.

V.1. Poussières sédimentables

Tableau 12. Flux des retombées de cuivre sur les différents postes pour les périodes P1 et P2

N°	Période P1	mg/m ² .j	N°	Période P2	mg/m ² .j
1	Cité 125 logts (école Primaire Bouamama), DM	228	1	Cimenterie DJ,T (unité) HB	1171
2	APC Hamma Bouziane	111	2	Cité 125 logts (école P Bouamama), DM	564
3	Ecole secondaire Boucheriha B,	94	3	Caserne Garde Communale	542
4	Cité universitaire oued el	91	4	APC Didouche Mourad	234
5	Cimenterie DJ, T (carrière) HB	79	5	Ecole secondaire	231
6	APC Didouche Mourad	71	6	Réservoir EPECO HB	210
7	Réservoir EPECO HB	55	7	Cité universitaire oued el Hadjer, DM	151
8	Ecole primaire Karbouaa, Ab DM	34	8	APC Hamma Bouziane DM	125
			9	Ecole primaire Karbouaa, Ab	87

Les flux de retombées de poussières sédimentables ont augmenté au niveau de tous les postes de mesure. Deux facteurs sont responsables de cette forte hausse : l'arrêt des filtres à manches pendant la période P2, d'une part, et la diminution du niveau des précipitations, d'autre part. En effet, La pluviométrie, la pluie accroît la masse et l'agrégation des particules, elle est donc un facteur limitant à l'envol des particules.

V.2. Cuivre

Tableau 13. Flux des retombées de cuivre sur les différents postes pour les périodes P1 et P2

N°	Période P1	$\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$	N°	Période P2	$\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$
1	Ecole secondaire Boucheriha	87	1	Cimenterie DJ,T (unité) HB	45
2	Cité 125 logts (Ecole P Bouamama), DM	20	2	Réservoir EPECO HB	36
3	Réservoir EPECO HB	17	3	Cité 125 logts (école P	35
4	APC Hamma Bouziane	12	4	APC Didouche Mourad	22
5	APC Didouche Mourad	11	5	Caserne Garde Communale	19
6	Ecole primaire Karbouaa, Ab	11	6	Ecole primaire Karbouaa, Ab	18
7	Cimenterie DJ, T (carrière)	9	7	Ecole secondaire Boucheriha B,	16
8	Cité universitaire Oued El	ND	8	Cité universitaire Oued El Hadjer, DM	13
			9	APC Hamma Bouziane	11

Les valeurs moyennes des flux de retombées de cuivre sont identiques pour les deux périodes P1 et P2. Elles sont largement en dessous de la valeur guide de $250 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$ (TA-LUFT, 1986). Le tableau 14 montre que les retombées de cuivre sont minimales pendant la période P1 et maximale pendant la période P2. L'arrêt des filtres à manche de la cimenterie entraîne une hausse significative des flux de cuivre. On en déduit que cet élément est rejeté par la cheminée de la cimenterie.

La valeur de $36 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$ observée au niveau de la station EPECO ne peut être imputée aux rejets de la cimenterie étant donné que ce poste ne se trouve pas sous le vent de cette usine. En effet, les vents dominants sont de nord à sud-ouest. Cela explique que les postes sous le vent de la cimenterie sont plus exposés aux rejets de celle-ci alors que les postes non exposés au vent ne peuvent être impactés par la cimenterie.

Le flux de cuivre enregistré au niveau de la station EPECO est donc forcément dû aux fertilisants utilisés par les agriculteurs dans les zones alentours. En effet l'agriculture est considérée comme une des sources de cuivre (WHO, 1998).

V.3. Nickel

Tableau 14. Flux des retombées de nickel sur les différents postes pour les périodes P1 et P2

N°	Période P1	$\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$	N°	Période P2	$\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$
1	Cité 125 logts (Ecole P	35	1	Caserne Garde Communale	29
2	Ecole secondaire Boucheriha	19	2	Cimenterie DJ,T (unité) HB	22
3	APC Hamma Bouziane	15	3	Reservoir EPECO HB	16
4	Cité universitaire Oued El	15	4	Cité 125 logts (école P	11
5	APC Didouche Mourad	10	5	Ecole primaire Karbouaa, Ab	10
6	Réservoir EPECO HB	9	6	Ecole secondaire Boucheriha B,	8
7	Ecole primaire Karbouaa, Ab	9	7	Cité universitaire oued el	7
			8	APC Didouche Mourad	6
			9	APC Hamma Bouziane	6

La valeur guide de $35 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$ en vigueur en Belgique (TA-LUFT, 2002) n'a pas été dépassée lors des deux périodes. Le nickel peut être rejeté par la cimenterie (WHO, 1991). Cependant, le nickel est présent dans tous sites en dehors de l'influence de la zone industrielle. Le nickel provient de diverses sources et entre autres des véhicules automobiles et notamment ceux roulant au diesel.

V.4. Plomb

Tableau 15. Flux des retombées de plomb sur les différents postes pour les périodes P1 et P2

N°	Période P1	$\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$	N°	Période P2	$\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$
1	Cité 125 logts (Ecole P	392	1	Cité 125 logts (école P	62
2	Cimenterie DJ, T (carrière)	377	2	Cimenterie DJ,T (unité) HB	59
3	APC Hamma Bouziane	277	3	APC Didouche Mourad	49
4	Cité universitaire Oued El	237	4	Ecole secondaire Boucheriha B,	30
5	Ecole secondaire Boucheriha	134	5	Caserne Garde Communale	24
6	APC Didouche Mourad	93	6	Ecole primaire Karbouaa, Ab	17
7	Ecole primaire Karbouaa, Ab	70	7	Reservoir EPECO HB	14
8	Réservoir EPECO HB	26	8	APC Hamma Bouziane	12
			9	Cité universitaire Oued El	12

Les flux de plomb sont de l'ordre de 1,3 à 3,9 fois la norme internationale en vigueur de $100 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$ au niveau de cinq postes de mesure (TA-LUFT, 2002). Les postes les plus impactés par les flux de plomb sont la cité 125 logts, la cimenterie, l'APC de Hamma Bouziane, la cité universitaire Oued El Hdjar et l'école secondaire Boucheriha. Seul le poste situé au niveau de

l'APC de Hamma Bouziane est en dehors de l'influence de la cimenterie (voir figure x : rose des vents). Le plomb provient d'une pollution diffuse induite par le trafic automobile au sein de la ville.

La baisse marquée des taux des retombées de plomb pendant la période P2 ne peut être attribuée qu'à une baisse d'activité conséquente de la source d'émission de cet élément. D'ailleurs, les autres éléments toxiques ont subi une baisse de leurs flux, notamment le chrome dont la moyenne des retombées est passée de 101 à 43 $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$ alors que le plomb a connu une baisse de 201 à 31 $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$. Sachant que le plomb et le chrome sont des éléments générés par tout processus de combustion, une source lointaine, connaissant une baisse de régime ou un arrêt d'activité, serait à l'origine de cette baisse des flux.

V.5. Chrome

Tableau 16. Flux des retombées de chrome sur les différents postes pour les périodes P1 et P2

N°	Période P1	$\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$	N°	Période P2	$\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$
1	Réservoir EPECO HB	141	1	Caserne Garde Communale	156
2	APC Didouche Mourad	106	2	Réservoir EPECO HB	94
3	APC Hamma Bouziane	102	3	APC Hamma Bouziane	67
4	Ecole primaire Karbouaa, Ab	99	4	Cité universitaire Oued El	63
5	Ecole secondaire Boucheriha	98	5	Cimenterie DJ,T (unité) HB	61
6	Cité 125 logts (Ecole Primaire Bouamama), DM	96	6	Cité 125 logts (école P Bouamama), DM	56
7	Cimenterie DJ, T (carrière)	86	7	Ecole primaire Karbouaa, Ab	53
	Cité universitaire Oued El Hadjer, DM	79	8	Ecole secondaire Boucheriha B, DM	50
			9	APC Didouche Mourad	50

Aucune valeur d'empoussièrement ne dépasse la valeur guide en Belgique et qui est égale à 250 $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$ (TA-LUFT, 1986). On remarque selon le tableau x que la baisse des flux de chrome est générale. L'explication tient, comme mentionné pour le plomb, à l'arrêt d'une activité lointaine source d'éléments métalliques toxiques.

V.6. Comparaison avec les niveaux observés en 2002-2003

Les dépôts de métaux toxiques observés pendant les deux périodes suivantes :

- entre le 04/11/2002 et le 02/12/2002 (P'1)
- entre le 02/12/2002 et le 12/01/2003 (P'2)

sont repris au tableau 17.

Tableau 17. Dépôts de métaux toxiques observés au niveau des dix postes de surveillance des retombées au courant de la période du 04/11/2002 et le 12/01/2003 (Habbas et Boumagoura, 2003)

$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$	Cd		Cr		Ni		Pb		Cu	
	P'1	P'2	P'1	P'2	P'1	P'2	P'1	P'2	P'1	P'2
Cimenterie DJ,T (unité) HB	32	20	114	204	54	193	769	719	898	1845
Cimenterie DJ,T (carrière) HB	34	27	103	178	38	180	517	387	355	524
APC Didouche Mourad	27	23	92	195	50	149	572	456	444	698
APC Hamma Bouziane	-	22	-	181	-	131	-	400	-	463
Caserne Garde Communale Békira	46	24	86	194	37	139	516	437	418	524
Réservoir EPECO HB	23	23	97	184	72	134	543	439	352	592
Ecole primaire Karbouaa, Ab DM	26	25	86	215	49	156	665	621	556	704
Ecole secondaire Boucheriha B, DM	26	25	64	190	47	139	561	481	409	739
Cité universitaire, DM	12	22	4	173	54	156	302	444	138	778
Cité 125 logts, DM	-	22	-	194	-	180	-	123	-	1270
Moyennes	28	23	81	191	50	156	556	451	446	814

Les dépôts des mêmes métaux observés durant les périodes P1 et P2 de l'année 2017 sont consignés dans le tableau 18.

Tableau 18. Dépôts de métaux toxiques observés au niveau des dix postes de surveillance des retombées au courant de la période du 06/11/2017 et le 27/12/2017

$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$	Cd		Cr		Ni		Pb		Cu	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Cimenterie DJ,T (unité) HB	NV	1	NV	61	NV	22	NV	59	NV	45
Cimenterie DJ,T (carrière) HB	ND	NV	86	NV	7	NV	377	NV	9	NV
APC Didouche Mourad	ND	ND	106	50	10	6	93	49	11	22
APC Hamma Bouziane	ND	ND	102	67	15	6	277	12	12	11
Caserne Garde Communale Békira	ND	NV	156	NV	29	NV	24	NV	19	524
Réservoir EPECO HB	ND	ND	141	94	9	16	26	14	17	36
Ecole primaire Karbouaa, Ab DM	ND	ND	99	53	9	10	70	17	11	18
Ecole secondaire Boucheriha B, DM	ND	ND	98	50	19	8	134	30	87	16
Cité universitaire, DM	ND	ND	79	63	15	7	237	12	NV	13
Cité 125 logts, DM	ND	ND	96	56	35	11	392	62	20	35
Moyennes	-	-	101	43	15	13	201	31	24	24

Ce tableau montre clairement que les dépôts des métaux ont connu une baisse générale très importante à l'exception du chrome enregistré au cours de la période P1 qui est légèrement plus élevé (25%) que celui observé pendant la période P'1. Le dépôt de chrome a baissé de 77% entre les périodes P'2 et P2.

Le nickel a connu une baisse de 70% et 92% entre les périodes P'1vs P1 et P'2 vs P2 respectivement.

Le plomb a connu une baisse de 64% et 93% entre les périodes P'1vs P1 et P'2 vs P2 respectivement.

Le cuivre a, quant à lui, enregistré une baisse de 95% et 97% entre les périodes P'1vs P1 et P'2 vs P2 respectivement.

La baisse significative de ces éléments toxiques est imputable aux mesures de traitement des rejets de la cimenterie opérés en fin de l'année 2012, d'une part, et à la déviation d'une part très importante du trafic routier de la RN03 vers le tronçon de l'autoroute Est-Ouest. En effet, une bonne partie du trafic empruntant l'autoroute n'avait pas d'autre choix que de recourir à la RN3 avant 2008, ce qui induisait un flux ininterrompu très important le long de la ville de Didouche Mourad. Cet effet d'aspiration du trafic par l'autoroute a connu son pic à l'ouverture du tunnel de Djebel Ouahch en 2014.

Conclusion

Cette étude nous a permis de mettre en évidence l'importance des retombées atmosphériques totales et d'identifier l'influence des sources potentielles, au niveau des postes de surveillance dans et autour de la ville de Didouche Mourad pendant deux périodes d'études P1 (06/11/2017 au 05/12/2018) et P2 (05/12/2018 au 27/12/2018).

On a pu remarquer que les flux des retombées atmosphériques totales des poussières sédimentables et des éléments métalliques observés durant P2 sont plus élevés que ceux observés durant la période P1.

On constate que le flux des retombées totales pendant P2 est plus élevé que la norme allemande « TA LUFT », contrairement à P1.

En ce qui concerne les éléments métalliques, on a pu observer une augmentation des retombées des éléments métalliques pendant P2.

Les éléments toxiques Ni et Pb dans les fractions solubles présentent un taux de solubilité considérable (81% pour les deux métaux) au cours de P1, impliquant un risque accru pour l'environnement, contrairement à la période P2 où on enregistre une baisse significative des pourcentages de ces métaux (4% pour Ni et 2% pour Pb).

La comparaison avec l'étude de l'année 2002-2003 nous a permis d'observer une baisse générale très importante des retombées des métaux toxiques. Cette comparaison a mis en évidence les facteurs en cause qui sont les mesures de traitement des rejets de la cimenterie opérés en fin de l'année 2011, la déviation du trafic routier de la RN03 vers le tronçon de l'autoroute Est-Ouest et l'ouverture du tunnel de Djebel Ouahch en 2014.

Références bibliographiques

- ❖ Ali-Khodja, H., Belaala, W. Demmane-Debbih, B. Habbas and N. Boumagoura. (2008). Air quality and deposition of trace elements in DidoucheMourad, Algeria. Environ Monit Assess. Vol. 138: 219-231.
- ❖ Ali-Khodja, H., Boumagoura, N. and Habbas, B. (2005). Spatio-temporal deposition fluxes of dust and trace elements around a cement plant in the vicinity of HammaBouziane, Algeria. Fresen. Environ. Bull., 14(3): 237-247.
- ❖ Ali-Khodja,H., Djessas,R.,Laouir,L. (2004). Qualité de l'air et impact sanitaire lié à l'exposition aux métaux lourds au voisinage de la cimenterie de Hamma Bouziane.
- ❖ Allemend (1990). Les oxydes d'azotes et la pollution atmosphérique, centre interprofessionnelle technique d'études de la pollution atmosphérique (CTEPA).
- ❖ Azimi, S. (2004). Sources, flux et bilan des retombées atmosphériques de métaux en Ile-de-France. Ecologie, Environnement. Ecole des Ponts ParisTech, Français. <tel-00007558>.
- ❖ Barnea, A., Parscuru, I. (1974). Pollution et protection de l'atmosphère.
- ❖ Bisson, M. (1986). Introduction à la pollution atmosphérique. Les publications du Québec.
- ❖ Bouzahir, N. (2001). Protection de l'environnement. Notes de cours. 4^{ème} année écologie. Faculté des sciences. Département des sciences de la nature et de la vie. Université Mentouri. Constantine. Algérie.
- ❖ Chovin & Roussel (1973) physiologie et physiopathologie des polluant atmosphérique.
- ❖ Dietrch, K. (1998). Conférence à l'école polytechnique de Zurich.
- ❖ Ferfar, A. (2003). Etude des retombées atmosphériques autour de la cimenterie Hamma Bouziane. Mémoire de fin de cycle d'ingénieur. Département des sciences de la nature et de la vie. Université Mentouri de Constantine.
- ❖ Habbas, B. et Boumagoura, N. (2003). Evaluation des retombées atmosphériques et leur modélisation autour de la cimenterie de Hamma Bouziane. Mémoire de fin de cycle d'ingénieurs. Département des sciences de la nature et de la vie. Université Mentouri de Constantine.
- ❖ Honner, V. (2006). Evaluation de la pollution par les HAP et les métaux lourds en Alasace. ASPA06091401-ID.
- ❖ Lampreamaldonado, D. (2009). caractérisation et origine des métaux traces hydrocarbures aromatique polycyclique et pesticide transportés par les retombées.

- ❖ Pascaud, A. (2013). Détermination des évolutions spatio-temporelles des retombées atmosphériques acidifiantes et eutrophisantes en FRANCE et élaboration d'un modèle de la projection. Thèse de Doctorat, Ecole Mines Douai et Université Lille 1 Sciences et technologies.
- ❖ Percot, S. (2013). Contribution des retombées atmosphériques au flux des polluants issus d'un petit bassin versant urbain : cas du Pin Sec à Nantes. Autre. Ecole Centrale de Nantes (ECN). Français. <tel-00851955>.
- ❖ Seraghni, N. (2007). mesure de la pollution particulaire et métallique dans l'air au niveau de 3 sites urbains de la ville de Constantine. Mémoire de Magistère. Département de chimie. Université Mentouri-Constantine.
- ❖ TA-Luft (1986). Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 27.2.1986). In: GMBI. 95.
- ❖ TA-Luft (2002). Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft Vom 24. Juli 2002). In: GMBI. 95.
- ❖ Terrouche, A. (2016). caractérisation de la pollution de l'air par les particules et les éléments métallique dans la ville de Constantine. Thèse de doctorat, département de chimie, université des frères Mentouri.
- ❖ Terrouche, A. Ali-Khodja, H., Kemmouche, A., Bouziane, M. Derradji, A. and Charron, A. (2016). Identification of sources of atmospheric particulate matter and trace metals in Constantine, Algeria. Air Quality, Atmosphere and Health. (9) : 69-82.
- ❖ WHO. (1998). **Environmental health criteria 200. Copper.** International programme on chemical safety.
- ❖ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/sources-de-polluants-atmospheriques.html>
- ❖ https://www.notre-planete.info/environnement/pollution_air/pollution-atmospherique.php#

Intitulé : Mesure des retombées particulaires et métalliques au niveau de la ville de Didouche Mourad.
Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie fondamentale et appliquée

Cette étude vise l'étude de la tendance spatio-temporelle des retombées de poussières sédimentables et des éléments métalliques dans et aux alentours de la ville de Didouche Mourad au travers de l'implantation optimale d'un réseau recouvrant une dizaine de postes de surveillance.

Les résultats obtenus durant les périodes d'études P1 (06/12/2018 au 05/12/2018) et P2 (05/12/2018 au 27/12/2018) révèlent des flux de retombées de poussières sédimentables moyens de $95 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$ et $368 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$ respectivement. L'augmentation des dépôts de poussières est attribuable à l'arrêt des filtres à manches durant la période P2 pour cause de maintenance et à la baisse du volume des précipitations. Les dépôts de poussières enregistrés au cours de P2 ont dépassé la norme allemande «TA LUFT» au niveau de trois postes de mesure. Les éléments prépondérants sont, sans surprise, les composés terrigènes (Ca, K, Fe) suivis des métaux générés par les procédés de combustion industrielle ou le chauffage domestique (Pb, Cr, Zn, Cu, Ni). De tous les éléments toxiques, seul le plomb représente un risque sur le plan des retombées. En effet, cinq postes de mesure ont enregistré des dépôts dépassant la norme internationale en vigueur de $100 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$.

Une comparaison des flux des retombées entre les années 2017 et 2002-2003 a permis de relever une baisse significative de l'empoussièrément au niveau de la ville de Didouche Mourad et une chute drastique quasi-générale des flux des métaux toxiques. Les facteurs à l'origine de l'amélioration de la qualité de l'air dans cette ville sont la mise en conformité de la cimenterie avec la réglementation en vigueur en matière de pollution industrielle dès 2012 et l'effet bénéfique de l'autoroute est-ouest qui a permis de désengorger la RN3.

Mots clés : poussières sédimentables, cimenterie, flux, éléments métalliques

Laboratoire de recherche : Laboratoire de Pollution et Traitement des Eaux

Jury d'évaluation :

Président du jury : Dr AFRI-MEHENNAOUI FZ, (Prof Constantine) ,

Rapporteur : Dr Prof ALI KHODJA Hocine, (Prof Constantine),

Examineur : Dr ZAIMECHE S, (MCB Constantine).

Date de soutenance : 25/06/2017