

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

N° D'ORDRE:  
SERIE:

UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE  
FACULTE DES SCIENCES EXACTES  
DEPARTEMENT DE CHIMIE

SOUTENANCE DE MEMOIRE  
PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTERE  
EN CHIMIE  
OPTION : CHIMIE ANALYTIQUE, PHYSIQUE ET ENVIRONNEMENT

**MESURE DES PM10 ET DE LEURS TENEURS  
METALLIQUES DANS LA VILLE DE  
CONSTANTINE**

Présenté par :  
M<sup>me</sup> BENCHARIF MADANI FAIROUZ  
EPOUSE BENHIZIA

SOUTENUE LE 11/01 /2012

Devant le Jury :

Président :	C. MOUATS	Prof Université de Constantine
Rapporteur :	H. ALI-KHODJA	Prof Université de Constantine
Examineur :	A.F DERRADJI	M.C Université d'Annaba
Examineur :	A. HAOUAM	Prof Université de Constantine

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à l'âme de mes parents, les deux personnes qui m'ont très chers et qui n'ont jamais cessés de me soutenir et de m'encourager et mon autre moitié; mon mari Nabil qui est toujours à mes côtés et sans qui je n'aurais jamais réalisé tous ce dont j'ai souhaité de faire et a su être toujours présent pour moi.*

*Et je ne pourrai oublier les deux prunelles de mes yeux, mes adorables filles Sara et Bouchra qui savaient toujours m'épanouir avec leurs petits sourires ainsi que mon petit poussin Atef. Et enfin je le dédie à toute la famille*

*BENCHARIF MADANI et BENHIZIA qui m'ont bien évidemment très fortement soutenu tout le long de ce travail, notamment lors des moments difficiles. Merci.*

## *Remerciement*

*Je dois remercier tout d'abord Dieu le tout puissant qui m'a donné la force et le courage de reprendre mes études et d'arriver à ce stade.*

*Un grand merci à mon directeur de thèse. Monsieur H. Ali Khodja, Professeur à l'université de Constantine. Je le remercie bien évidemment pour m'avoir permis de réaliser ce travail au sein du laboratoire Pollution et Traitement des Eaux LPTE, mais également pour la confiance qu'il m'a apportée en me laissant une grande liberté dans la pratique de mon travail de recherche. Merci aussi pour sa (très grande) patience sans pareille et sa compréhension, et cela malgré un emploi du temps plutôt chargé.*

*Je tiens à remercier les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*Je tiens à remercier très sincèrement Monsieur C. Mouats, professeur à l'université de Constantine, pour m'avoir fait honneur et plaisir d'accepter de présider ce jury.*

*Mes remerciements vont également à Monsieur A. Houam, professeur à l'université de Constantine, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et également pour avoir accepté de siéger dans ce jury.*

*Je souhaite remercier chaleureusement Monsieur A.F Derradji Maître de Conférences à l'université d'Annaba, pour avoir bien voulu examiner ce travail.*

*Merci aux chercheurs Français de l'Inrets devenu Ifsttar depuis 2011 et impliqués dans le projet CMEP09MDU776 dirigé par Mr André Michel et Mr Ali-Khodja Hocine et en particulier à Mme Aurélie Charron pour les conseils prodigués lors des réunions tenues à l'université de Constantine.*

*Merci aussi à toute l'équipe du laboratoire 14 (A. Terrouche et M. Bouziane), pour les nombreux aides et conseils fournis mais aussi pour leur sympathie.*

*Un très grand merci à M<sup>elle</sup> N. Seraghni pour sa gentillesse et son aide précieuse et indispensable.*

*Plus largement, merci au Directeur et au personnel de la polyclinique EPSP Mentouri Bachir à Constantine de leur aide lors des nombreuses collectes de particules atmosphériques au niveau de leur établissement.*

*Un immense merci à Monsieur M. Zaabat chef de laboratoire du CACQ et M<sup>elle</sup> F.Z. ABBASS pour leur aide précieuse.*

*Merci à tous ceux qui m'ont aidé de quelque façon que ce soit, de près comme de loin.*

# SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

NOMENCLATURE

INTRODUCTION GENERALE 1

## PARTIE 1. REVUE DE LA LITTERATURE

### CHAPITRE I. ETAT DE L'ART RELATIF A LA MESURE DES PARTICULES FINES EN MILIEU URBAIN

I.1. Introduction	4
I.2. Méthodes de prélèvement des poussières fines	4
I.3. Méthodes de caractérisation de la concentration massique	6
I.3.1. Méthode de référence ou méthode gravimétrique	6
I.3.2. Méthodes automatique	6
I.3.2.1. La jauge Beta	6
I.3.2.2. Le TEOM (Traped Eelement Oscillating Microbalance)	6

### CHAPITRE II. LA POLLUTION PARTICULAIRE ET METALLIQUE

II.1. La pollution particulaire	8
II.1.1. Introduction	8
II.1.2. Définitions et caractérisations des particules atmosphériques	8
II.1.2.1. Définition	8
II.1.2.1.1. Les poussières	8
II.1.2.1.2. Les fumées noires	9
II.1.2.1.3. Brumes et brouillards	9
II.1.2.2. Critères de classification des particules	12
II.1.2.2.1. La taille des particules	12
II.1.2.2.2. La composition chimique des particules	13
II.1.2.2.3. La nature des particules	14
II.1.2.2.3.1. Les particules minérales	14

II.1.2.2.3.2. Les particules organiques	15
II.1.3. Formation et évolution des particules	15
II.1.3.1. Formation des particules	15
II.1.3.2. Evolution des particules	16
II.1.4. Le temps de séjour des particules dans l'atmosphère	17
II.1.5. Les mécanismes d'élimination des particules	18
II.1.5.1. Le dépôt sec	18
II.1.5.2. Le dépôt humide	18
II.1.5.2.1. Le « rain-out »	18
II.1.5.2.2. Le « wash-out »	18
II.1.6. Effets des poussières	19
II.1.6.1. Effets sur la santé	19
II.1.6.2. Effets sur les écosystèmes	20
II.1.6.3. Effets sur le climat	21
II.1.6.4. Effets sur les bâtisses	21
II.2. La pollution métallique	22
II.2.1. Les métaux lourds	22
II.2.1.1. Généralités	22
II.2.1.2. Effets des métaux lourds	22
II.2.1.2.1. Le plomb	23
II.2.1.2.2. Le manganèse	23
II.2.1.2.3. Le cadmium et le zinc	23
II.2.1.3. Les principaux métaux lourds	24
II.2.1.3.1. Le cadmium	24
II.2.1.3.2. Le plomb	25
II.2.1.3.3. Le cuivre	25
II.2.1.3.4. Le zinc	26
II.2.1.3.5. Autres métaux	27

## CHAPITRE III. LES PARAMETRES INFLUENÇANT LA DISPERSION DES POLLUANTS

III.1. Les facteurs météorologiques	30
III.1.1. Le vent, sa vitesse et sa direction	30
III.1.2. La température	30

III.1.3. L'humidité relative	31
III.1.4. La nébulosité	31
III.1.5. Les précipitations	31
III.1.6. La turbulence atmosphérique	31
III.1.7. La topographie	31

## CHAPITRE IV. DESCRIPTION DU MILIEU URBAIN A CONSTANTINE

IV.1. Présentation de la ville	32
IV.2. Constantine et la pollution urbaine	32
IV.2.1. Les industries	33
IV.2.2. La circulation automobile	33

## PARTIE 2. MATERIEL ET METHODES

### CHAPITRE I. MATERIEL ET METHODES

I.1. Description et mode de fonctionnement du préleveur de poussières fines MiniVol TAS	37
I.1.1. Principe de fonctionnement	37
I.1.2. Echantillonnage des particules	39
I.1.2.1. Préparation de l'échantillonneur pour le prélèvement de PM10	39
I.1.2.2. Débit	39
I.1.2.3. Installation du filtre	39
I.1.2.4. Sélection du temps d'échantillonnage	39
I.1.2.5. Procédure d'échantillonnage	40
I.1.2.6. Récupération du filtre	41
I.1.2.7. Filtre usagé	41
I.1.3. Maintenance	42
I.1.3.1. Ensemble impacteur/support de filtre	42
I.1.3.1.1. Nettoyage de l'impacteur/support de filtre	42
I.1.3.1.2. Nettoyage de la pièce EMT	42
I.1.3.2. Système de contrôle du débit	43
I.1.3.3. Programmateur de temps	43
I.1.3.4. Nettoyage/contrôle des valves et des diaphragmes de la pompe	43

I.2. Station météorologique	46
I.2.1. Description	46
I.2.2. Présentation du logiciel WRPLOT	47
I.2.3. Traitement des données météorologiques	48
I.3. Minéralisation des poussières	48
I.4. Spectrométrie d'absorption atomique	50
I.4.1. Principe	50
I.4.2. Appareillage	50
CHAPITRE II. DESCRIPTION DU SITE DE PRELEVEMENT	
II.1. Topographie du site	52
II.1.1. Choix du site de prélèvement	52
II.1.2. Coordonnées topographiques du site de prélèvement	52
PARTIE 3. INTERPRETATION DES RESULTATS	
CHAPITRE I. Corrélation avec les paramètres météorologiques	
I.1. Conditions météorologiques du site	55
I.2. Contribution de la direction du vent aux concentrations des polluants	58
I.3. Résumé des corrélations	61
CHAPITRE II. Evolution des concentrations de PM10 et des métaux lourds	
II.1. Evolution temporelle des concentrations de PM10 dans le temps	63
II.2. Evolution temporelle des concentrations de métaux lourds dans le temps	71
II.2.1. Le cuivre	71
II.2.2. Le fer	76
II.2.3. Le zinc	77
II.2.4. Le plomb	78
II.2.5. Le cadmium	80
CONCLUSION GENERALE	85
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	87
ANNEXES	94

## Liste des figures

Figure 1. Repère de taille des particules PM <sub>10</sub> et PM <sub>2,5</sub> .....	13
Figure 2. Composition moyenne des particules diesel en pourcentage du poids total.....	15
Figure 3. Processus de formation et d'évolution des aérosols dans l'atmosphère.....	17
Figure 4. Dépôt de particules fines dans les voies respiratoires en fonction de la taille des particules.....	20
Figure 5. Carte représentative de Constantine et ses environs.....	33
Figure 6. Le collecteur (TAS).....	38
Figure 7. Contenu intérieur de l'échantillonneur (TAS).....	38
Figure 8. La station météo sans fil (modèle WMR928N).....	47
Figure 9. Filtres en fibre de verre.....	49
Figure 10. Spectromètre d'absorption atomique.....	51
Figure 11. Localisation par satellite du site de prélèvement.....	52
Figure 12. Intensité des précipitations du 25/05/2010 au 19/10/2010.....	56
Figure 13. Distribution des fréquences des vents du 25/05/2010 au 19/10/2010.....	57
Figure 14. Rose des vents de la période du 25/05/2010 au 19/10/2010 .....	58
Figure 15. Evolution des concentrations des PM <sub>10</sub> du 25/05/2010 au 19/10/2010.....	66
Figure 16. Rétro trajectoire du 14/07/2010 (3 jours avant).....	67
Figure 17. Rétro trajectoire du 19/09/2010 (3 jours avant).....	68
Figure 18. Rétro trajectoire du 07/10/2010 (3 jours avant).....	69
Figure 19. Rétro trajectoire du 09/10/2010 (3 jours avant).....	70

<b>Figure 20. Rétro trajectoire du 01/09/2010 (3 jours avant).....</b>	<b>71</b>
<b>Figure 21. Evolution des concentrations de cuivre du 25/05/2010 au 19/10/2010.....</b>	<b>73</b>
<b>Figure 22. Présence de fumées de feu de biomasse apparente dans la région de Constantine en date du 8/7/2010 à 18 h et du 9/7/2010 à 00h et 06 h (NAAPS : Navy Aerosol Analysis and Prediction system).....</b>	<b>74</b>
<b>Figure 23. Présence de fumées de feu de biomasse apparente dans la région de Constantine entre le 24/6/2010 à 12 h et le 25/6/2010 à 06h (NAAPS : Navy Aerosol Analysis and Prediction system).....</b>	<b>75</b>
<b>Figure 24. Evolution des concentrations de fer du 25/05/2010 au 19/10/2010.....</b>	<b>77</b>
<b>Figure 25. Evolution des concentrations de zinc du 25/05/2010 au 19/10/2010.....</b>	<b>78</b>
<b>Figure 26. Evolution des concentrations de plomb du 25/05/2010 au 19/10/2010.....</b>	<b>80</b>
<b>Figure 27. Evolution des concentrations de cadmium du 25/05/2010 au 19/10/2010.....</b>	<b>81</b>
<b>Figure 28. Courbe d'étalonnage du cuivre.....</b>	<b>98</b>
<b>Figure 29. Courbe d'étalonnage du zinc.....</b>	<b>99</b>
<b>Figure 30. Courbe d'étalonnage du fer.....</b>	<b>100</b>
<b>Figure 31. Courbe d'étalonnage du plomb.....</b>	<b>101</b>
<b>Figure 32. Courbe d'étalonnage du cadmium.....</b>	<b>102</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1. Caractéristiques des différentes classes de particules.....</b>	<b>11</b>
<b>Tableau 2. Propriétés physico-chimiques des métaux alcalins et alcalino-terreux.....</b>	<b>27</b>
<b>Tableau 3. Source, propriété et utilisation de quelques métaux lourds.....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau 4. Mode d'exploitation et âge du parc véhicule.....</b>	<b>34</b>
<b>Tableau 5. Coordonnées topographiques des routes longeant la polyclinique Mentouri.....</b>	<b>53</b>
<b>Tableau 6. Contributions moyennes des secteurs de vent aux concentrations des polluants.....</b>	<b>59</b>
<b>Tableau 7. Coefficients de corrélation entre les paramètres météorologiques et les teneurs de polluants (PM<sub>10</sub> et métaux lourds).....</b>	<b>62</b>
<b>Tableau 8. Concentrations moyennes annuelles de PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) mesurées dans différentes régions du monde durant l'année 2004 .....</b>	<b>64</b>
<b>Tableau 9. Gamme des Concentrations moyennes annuelles de PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) mesurées dans différentes régions du monde.....</b>	<b>64</b>
<b>Tableau 10. Concentrations moyennes de cuivre dans différents sites .....</b>	<b>72</b>
<b>Tableau 11. Concentrations de fer dans différents sites urbain.....</b>	<b>76</b>
<b>Tableau 12. Concentrations de quelques métaux lourds dans différents sites.....</b>	<b>79</b>
<b>Tableau 13. Normes européennes pour les métaux lourds.....</b>	<b>81</b>
<b>Tableau 14. Paramètres météorologiques et concentrations des PM<sub>10</sub> et métaux lourds durant la période d'étude (du 25/05/2010 au 19/10/2010).....</b>	<b>82</b>

## NOMENCLATURE

$\mu\text{m}$  : micromètre

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube

$\emptyset_f$  : Direction du vent finale

$\emptyset_i$  : Direction du vent initiale

ADEME : Agence de l'environnement et la maîtrise de l'énergie

CO : Monoxyde de carbone

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone

COV : Composé organique volatil

Cu : cuivre

E : Est

EPA : Environmental Protection Agency (Agence pour la Protection de l'Environnement)

EPSP : Etablissement de Proximité de Santé Publique

HAP : Hydrocarbure aromatique polycyclique

HCl : acide chlorhydrique

HF : acide fluorhydrique

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : acide sulfurique

HNO<sub>3</sub> : acide nitrique

I<sub>sp</sub> : Flowmeter set point (débit de consigne)

Mg : Manganèse

Moy : Moyenne

N : Nord

N<sub>2</sub> : Azote

NH<sub>3</sub> : Ammoniac

NO : Monoxyde d'azote

NO<sub>2</sub> : Dioxyde d'azote

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

Pa : Pression moyenne

P<sub>act</sub> : Pression actuelle

**PL : Poids lourds**

**PM : Particule matter**

**PM<sub>10</sub> : Particules de diamètre <10 µm**

**PM<sub>2.5</sub> : Particules de diamètre <2.5 µm**

**ppm : Partie par million en volume**

**P<sub>std</sub> : Pression standard**

**PTS : Particules totales en suspension**

**Q<sub>act</sub> : Débit actuel**

**Q<sub>ind</sub> : Débit indiqué**

**Q<sub>std</sub> : Débit standard**

**R : coefficient de corrélation**

**S : Sud**

**SO<sub>2</sub> : Dioxyde de soufre**

**TAS : Tactical Air Simplifier**

**T<sub>a</sub> : Température actuelle**

**T<sub>std</sub> : Température standard**

**u<sub>f</sub> : Vitesse du vent finale**

**u<sub>i</sub> : Vitesse du vent initiale**

**V<sub>act</sub> : Volume actuel**

**V<sub>std</sub> : Volume standard**

**W : Ouest**

**X : Longitude**

**Y : Latitude**

## *Introduction*

La pollution de l'air est la présence de substances dans l'air en quantités suffisantes pour conduire à des effets néfastes qui nuisent à la santé humaine, la végétation et l'environnement. Elle s'est accrue au cours des dernières décennies. Il serait inutile d'attribuer cette croissance à un type particulier d'activités industrielles, à une technologie moderne déterminée. C'est en fait la résultante de multiples facteurs qui caractérisent la civilisation moderne : accroissement de la production d'énergie, de l'industrie métallurgique et chimique, des tonnages d'ordures incinérées et de la circulation routière et aérienne [Ramade, 1982].

La pollution atmosphérique est l'une des inquiétudes majeures en terme d'environnement et donc de qualité de vie. La volonté de résoudre ce problème général est marquée à la fois par une notion de temps et de type de polluants rejetés.

Les différentes sources de pollution émettent vers l'atmosphère des composés sous forme de gaz dont les oxydes (oxyde de carbone, oxyde d'azote, oxyde de soufre), les composés organiques, et des composés particuliers qui sont formés principalement de composés minéraux (métaux, nitrates, sulfates, sels) et de composés organiques.

De nombreux travaux expérimentaux et épidémiologiques ont permis de montrer que la pollution atmosphérique d'origine particulière joue un rôle considérable, même à faible dose, dans l'apparition d'affections respiratoires [Aubier, 2000 ; Dockery *et al.* 1993]. Dans ces études, la pollution associée au trafic automobile en milieu urbain est régulièrement désignée comme le responsable de ces effets [Dockery, 1993 ; Pope *et al.* 1995]. Cette pollution résulte des émissions spécifiques aux deux grands types de motorisation, essence ou diesel. Or les moteurs diesel génèrent plus de particules fines, environ trente fois plus que les moteurs essences [CNRS, 1998]. Il est admis que la nocivité de cet aérosol particulière est principalement due à la fraction très fine des particules qui le composent et qui pénètrent ainsi jusqu'aux alvéoles pulmonaires.

La toxicité des poussières est essentiellement liée à la fraction de taille aérodynamique inférieure à 10  $\mu\text{m}$  (« particulate matter 10 » [PM10] de la littérature anglo-saxonne). Elles peuvent pénétrer jusqu'aux voies respiratoires inférieures, véhiculant à leur surface d'autres polluants pouvant être toxiques. Les particules en suspension, en particulier les PM10, représentent un indicateur majeur de la qualité de l'air d'un point de vue sanitaire, les études leur attribuant une responsabilité dans la survenue d'une vaste gamme d'effets biologiques et sanitaires.

En Algérie où l'urbanisation et la motorisation se développent rapidement, la dégradation de la qualité de l'air et les nuisances sont déjà perçues et la pollution par les particules fines n'a cependant pas fait l'objet d'une attention particulière [Kerbachi *et al.* 2009].

On s'est intéressé dans ce travail à l'estimation de la pollution particulaire et métallique issus du trafic routier en milieu urbain dans la wilaya de Constantine.

L'objectif de ce travail est de quantifier et d'identifier la pollution par les  $PM_{10}$  au niveau de la polyclinique EPSP Mentouri de la cité Daksi au moyen d'un collecteur de poussières fines à faible débit de marque Airmetrics, type TAS et d'une station météorologique sans fil installés tous deux sur la terrasse de l'EPSP Mentouri afin d'étudier l'influence des paramètres météorologiques sur la dispersion des polluants émis par les véhicules en prenant en considération les caractéristiques du trafic (densité, vitesse, composition).

Ce mémoire comprend trois parties :

- La première partie est composée de quatre chapitres.
  - Dans le premier chapitre ; on abordera les différentes méthodes de prélèvement des poussières fines.
  - On s'intéressera plus précisément dans le deuxième chapitre à la pollution particulaire et métallique, ses origines et ses effets sur l'environnement et sur la santé humaine.
  - Les paramètres influençant la dispersion des polluants seront décrits dans le troisième chapitre.
  - Dans le quatrième chapitre on abordera la description du milieu urbain à Constantine.
- Dans la partie expérimentale, on présentera dans un premier chapitre le matériel et les méthodes d'analyse utilisées, ainsi que les caractéristiques du site de prélèvement dans le deuxième chapitre de cette partie.
- La troisième partie sera consacrée à l'interprétation des différents résultats obtenus ainsi qu'à une discussion.
- Une conclusion générale est donnée à la fin du document.

**PARTIE 1.**

**REVUE DE LA LITTERATURE**

## **CHAPITRE I. Etat de l'art relatif à la mesure des particules fines en milieu urbain**

### **I.1. Introduction**

La question de santé publique reste ouverte et des recherches sont nécessaires afin de renforcer les connaissances en matière d'exposition réelle de la population à la pollution particulaire. L'évaluation de cette exposition consiste à croiser les données de répartition géographique de la population et les données de pollution.

Il est ainsi nécessaire d'améliorer nos connaissances théoriques des comportements des particules fines mais aussi d'acquérir une estimation précise de la pollution particulaire dans l'espace et dans le temps. Plusieurs outils existent aujourd'hui qui permettent de dériver des informations sur la qualité de l'air autant dans l'espace que dans le temps. Ils rencontrent aujourd'hui des problèmes de validation et de limitation.

La principale difficulté est l'insuffisance des stations de mesures. Les villes ne peuvent se permettre d'équiper tous les quartiers, les rues et les places de dispositifs de surveillance de la qualité de l'air à cause de leur coût élevé. Or la variabilité de la distribution spatio-temporelle des concentrations des polluants est élevée et un suivi optimal requerrait des observations spatialement et temporellement denses.

### **I.2. Méthodes de prélèvement des poussières fines**

Contrairement à la mesure des polluants atmosphériques gazeux, les méthodes de mesure des particules en suspension sont multiples et variées, en raison de leur nature extrêmement complexe et diversifiée. En effet, la description complète de la pollution particulaire nécessite la mise en œuvre de différentes méthodes, toutes complémentaires [Australian government-department of the environment and heritage (2004)], basées essentiellement sur trois approches : La détermination de la concentration massique, exprimée en microgramme par mètre cube d'air, la détermination du nombre de particules, et enfin l'analyse de leur composition chimique [AIRPARIF, 2008].

Une des principales difficultés est que la plupart de ces méthodes sont coûteuse, assez lourdes à mettre en œuvre et donc difficilement applicables en routine au sein des réseaux de

surveillance de la qualité de l'air. Il n'existe notamment pas de moyens de mesure simples tels que les tubes à diffusion utilisés pour les polluants gazeux, permettant de multiplier les points de mesure [AIRPARIF, 2008].

Dans ce chapitre on va décrire brièvement les principales méthodes de mesure applicables au sein des réseaux de surveillance de la qualité de l'air.

La caractérisation des particules en suspension comporte toujours une phase de prélèvement suivie d'une phase de mesure ou d'analyse. Les particules en suspension peuvent être prélevées soit par aspiration d'un volume d'air au moyen d'une pompe, soit par dépôt passif sur un support de collecte.

Dans le cas d'un prélèvement passif l'échantillonnage se fait par dépôt naturel (dépôt sec par gravité ou dépôt humide par les précipitations) sur un support de collecte conçu à cet effet. Les supports les plus utilisés sont les plaquettes de dépôt et les collecteurs de précipitation (jauge Owen) [AIRPARIF, 2008].

Dans le cas d'un prélèvement par aspiration on peut distinguer trois catégories :

- **Les prélèvements sans coupure granulométrique précise** : ce type de prélèvement assure une coupure granulométrique mal connue (estimée autour de 100  $\mu\text{m}$ ), qui peut être influencée par les conditions météorologiques. Ce type de prélèvement est notamment utilisé dans la mesure des fumées noires ou avec les échantillonneurs à grand débit (HVS) (High Volume Sampler) configurés en mode (TPS) (Total Suspended Particulate). Ces têtes de prélèvement sont aujourd'hui peu utilisées, car elles prélèvent des particules trop grosses pour être inhalées, et présentant donc peu d'intérêt en terme de protection de la santé humaine.
- **Les prélèvements avec coupure granulométrique** : ils sont effectués à l'aide d'une «tête» de prélèvement qui par sa conception, ne capte en théorie que des particules de diamètre aérodynamique inférieur à une valeur définie. Cette méthode permet ainsi de focaliser la surveillance sur les particules inhalables. Les têtes les plus couramment utilisés sont la tête définie par la norme française NFX43021 et les têtes  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2,5}$  d'origine américaine [AIRPARIF, 2006].
- **Les prélèvements avec coupure granulométrique**, réalisable par exemple à l'aide d'impacteurs en cascade [Quisefit & Gaudichet, 1998]. Cette méthode permet de

faire une séparation des particules selon leur taille afin d'en étudier la distribution granulométrique.

### **I.3. Méthodes de caractérisation de la concentration massique**

Dans les réseaux de surveillance de la qualité de l'air, la mesure des particules repose essentiellement sur des mesures de concentration massique. Les méthodes de mesure décrites ici permettent de fournir une valeur de concentration des particules dans l'air en  $\mu\text{m}/\text{m}^3$ , sans considération de granulométrie, de nombre de particules ou de composition.

#### **I.3.1. Méthode de référence ou méthode gravimétrique**

Cette méthode consiste à prélever les particules  $\text{PM}_{10}$  sur des filtres, et à les peser ensuite [Normes EN 12341, (1999)], c'est également cette méthode qui est définie comme référence pour les  $\text{PM}_{2.5}$  [Norme EN 14907, 2005].

#### **I.3.2. Méthodes automatiques**

Les méthodes automatiques ne nécessitent pas de pesée. On décrira brièvement ci-dessous les deux méthodes les plus utilisées dans les réseaux de surveillance de la qualité de l'air.

##### **I.3.2.1. La jauge Beta**

La méthode par jauge Beta consiste à collecter des particules ( $\text{PM}_{10}$  ou  $\text{PM}_{2.5}$ ) par aspiration d'un volume d'air déterminé sur un filtre en fibre de verre qui défile de manière séquentielle devant une jauge  $\beta$ . La masse du dépôt de poussière est déterminée en mesurant l'atténuation du rayon  $\beta$  des poussières recueillies sur le filtre [AIRPARIF, 2008].

##### **I.3.2.2. Le TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance)**

La méthode par microbalance à élément conique oscillant repose sur la mesure en continu de la fréquence de vibration d'un élément oscillant sur lequel les particules se déposent. Ces variations de fréquence sont converties en variation de masse de poussières déposées. La mesure du débit volumique permet de déterminer la concentration en microgrammes de particules par mètre cube d'air. En amont de cette microbalance est installée une tête de prélèvement  $\text{PM}_{10}$  ou  $\text{PM}_{2.5}$  [AIRPARIF, 2008].

Les préleveurs commercialisés actuellement sont trop nombreux pour être tous cités. Du fait des très faibles concentrations usuellement rencontrées dans l'air ambiant, on ne

considère généralement que les méthodes actives de prélèvement pour les particules en suspension dans l'air : la filtration et l'impaction.

Les préleveurs par filtration sont les plus communément utilisés et font globalement appel à la combinaison de plusieurs dispositifs : une tête de prélèvement (permettant ou non de sélectionner en taille les particules entrantes) ; un support de collecte (filtre ou membrane) ; un système de pompage à haut débit (typiquement de l'ordre de quelques dizaines de m<sup>3</sup>/h ou plus) ou à bas débit (de l'ordre du m<sup>3</sup>/h [Alleman et Math, 2008]).

## **CHAPITRE II. La pollution particulaire et métallique**

### **II.1. La pollution particulaire**

#### **II.1.1. Introduction**

Il existe un grand nombre de termes utilisés couramment pour décrire la pollution particulaire. Le terme particule est une expression générique qui désigne un mélange de polluant solide et/ou liquide en suspension dans un milieu gazeux. Les particules sont aussi appelées aérosols, notion qui inclut à la fois les particules et le gaz dans lequel elles se trouvent en suspension. Ces aérosols ou "particules", sont extrêmement divers et constituent une famille de "polluants voyageurs" particulièrement difficile à appréhender. Il est cependant essentiel de les mesurer et d'évaluer leur impact, notamment sur la santé humaine.

#### **II.1.2. Définitions et caractérisations des particules atmosphériques**

##### **II.1.2.1. Définition**

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), les particules atmosphériques peuvent être définies ainsi : « les particules en suspension ou les matières particulaires sont des polluants atmosphériques consistant en un mélange complexe de substances organiques et minérales en suspension dans l'air, sous forme solide et/ou liquide. Ces particules sont de tailles, de compositions et d'origines diverses ce qui en fait l'un des constituants les plus complexes de l'atmosphère [OMS, 2005]. Leurs propriétés se définissent en fonction de leur diamètre aérodynamique appelé «taille particulaire » variant de 0.02  $\mu\text{m}$  à 100  $\mu\text{m}$ .

En effet, bien que le diamètre aérodynamique soit un paramètre de classification communément admis, celui-ci ne traduit en rien la diversité d'origine, les composés présents ainsi que les propriétés chimiques des particules considérées.

Les particules peuvent former avec l'air un aérosol (poussières, fumées, brumes, brouillards, smog). [ASPA en Alsace, 2001].

##### **II.1.2.1.1. Les poussières**

La poussière est une substance réduite en poudre très fine, avec des particules susceptibles de se trouver en suspension dans l'air sous certaines circonstances et pendant un

temps plus ou moins long. Le vocable anglais «dust » représente les particules de dimension inférieure à 75 µm issues de processus mécaniques.

#### **II.1.2.1.2. Les fumées noires**

Les fumées noires sont des poussières dues à l'activité humaine essentiellement constituées de particules de carbone dont une petite part est de diamètre inférieur à 2,5 µm.

#### **II.1.2.1.3. Brumes et brouillards**

La brume est un terme appliqué à une suspension de gouttelettes (particules supérieures au µm) dans un gaz et correspond à des conditions de visibilité de 1 à 2 km. Selon les conventions internationales, lorsque les conditions de visibilité sont inférieures à 1000 mètres, le terme de brouillard est utilisé.

Suivant leur mécanisme de formation, on distingue :

**Les particules primaires** (directement émises dans l'atmosphère) :

Les particules primaires proviennent directement des émissions dans l'atmosphère par des procédés naturels ou anthropiques ; de ce fait leur composition est très différente [Alastuey *et al*, 2006].

- ✓ **Les sources naturelles** : Les volcans et les sources terrigènes constituent les origines naturelles principales.
- ✓ **Les sources anthropiques** : elles se déclinent par ordre décroissant d'importance comme suit :
  - la combustion du diesel et de l'essence des véhicules automobiles.
  - l'utilisation de combustibles domestiques solides (charbon, bois).
  - les activités industrielles (constructions, cimenteries, fonderies).
  - la circulation routière (abrasion de la route, des pneus et des freins).
  - les travaux d'excavation et les activités minières [Choi *et al*, 2004; Rodriguez *et al.*, 2004; OMS, 2005].

### **Les particules secondaires**

Elles sont d'origines anthropiques et naturelles ; elles sont générées dans l'atmosphère par des réactions mettant en jeu les polluants gazeux. En effet, les particules secondaires résultent entre autre de la transformation des NO<sub>x</sub> (oxydes d'azote), émis par la circulation automobile et certains procédés industriels, en nitrates mais aussi de la transformation du SO<sub>2</sub> issu de combustibles contenant du soufre en sulfates [OMS. 2005; Vassilakos *et al.*, 2005].

Plus généralement, il existe trois mécanismes de formation des particules secondaires [Baulig 2004; Borm *et al.*, 2006] :

- L'accumulation : c'est la transformation dans l'atmosphère des gaz en particules.
- La nucléation : ce phénomène se produit après l'accumulation. Il consiste en une croissance des particules secondaires (qui après la nucléation vont de 1 à 10 nm) en taille par coagulation ou condensation.
- La formation mécanique : plus spécifique des particules secondaires d'origine naturelle car il s'agit de l'érosion éolienne, des météorites et des embruns contenant des particules de sels provenant du bris des vagues.

**Les particules primaires** sont essentiellement retrouvées dans la fraction des **grosses particules** alors que **les particules secondaires** sont principalement présentes dans les classes des **particules fines et ultrafines**.

Les substances majoritaires composant les particules sont les sulfates, les nitrates, l'ammonium, le chlorure de sodium, le carbone, des matières minérales ainsi que l'eau. Mais la composition des particules est en lien direct avec leurs origines, il peut donc être utile d'associer pour chaque classe de particules, les sources, le mode de formation et leur composition (Tableau 1).

Dénomination	Origine	Type de formation	composition
<b>Grosses particules (PM<sub>10</sub>)</b>	Naturelle et anthropique	- Erosion minérale - Usure de la chaussée, des pneus, des garnitures de freins	- Matériaux terrigènes (oxydes d'aluminium, silice) - Carbone organique - Carbone élémentaire - Sulfates, nitrates et ammonium - Embruns (NaCl)
<b>Particules fines (PM<sub>2,5</sub>)</b>	Anthropique essentiellement	- Déchets de combustion - Condensation - Nucléation	- Matériaux terrigènes - Carbone organique - Carbone élémentaire - Sulfates, nitrates et ammonium - HAP - Métaux lourds (Pb, Zn, Cd)
<b>Particules ultrafines (PM<sub>0,1</sub>)</b>	Anthropique essentiellement	- Déchets de combustion	- Carbone élémentaire - HAP - Métaux lourds (Pb, Zn, Cd)

**Tableau 1. Caractéristiques des différentes classes de particules**

## **II.1.2.2. Critères de classification des particules**

### **II.1.2.2.1. La taille des particules**

Les particules sont classées par taille selon leur nature et leur origine. La granulométrie des aérosols est un élément essentiel à déterminer, car leurs propriétés physiques, et par la suite leur comportement, en dépendent fortement. La gamme des dimensions varie principalement de quelques angströms à plusieurs dizaines de micromètres ; on distingue (figure 1):

#### **Les particules les plus grosses (de diamètre aérodynamique supérieur à 10 µm)**

Elles sont d'origine aussi bien naturelle qu'anthropique : embruns marins, suspension de terre et de sable, pollens, résidus de combustion de centrale électrique, cimenterie, poussière lors d'excavation de matériaux, émissions diverses des véhicules, usure de la route et des pneus [Rodriguez *et al.*, 2004].

#### **Les particules de tailles intermédiaires (de diamètre aérodynamique compris entre 2,5 et 10µm)**

Ces particules sont d'origine terrestre ou proviennent de la combustion des sources mobiles.

#### **Les particules fines (de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm)**

Les particules fines font exclusivement partie de la classe des particules en suspension, c'est-à-dire qu'elles ne se déposent pas. En nombre, elles représentent une part importante de la fraction **PM<sub>10</sub>** qui est mesurée en routine par les réseaux de qualité de l'air.

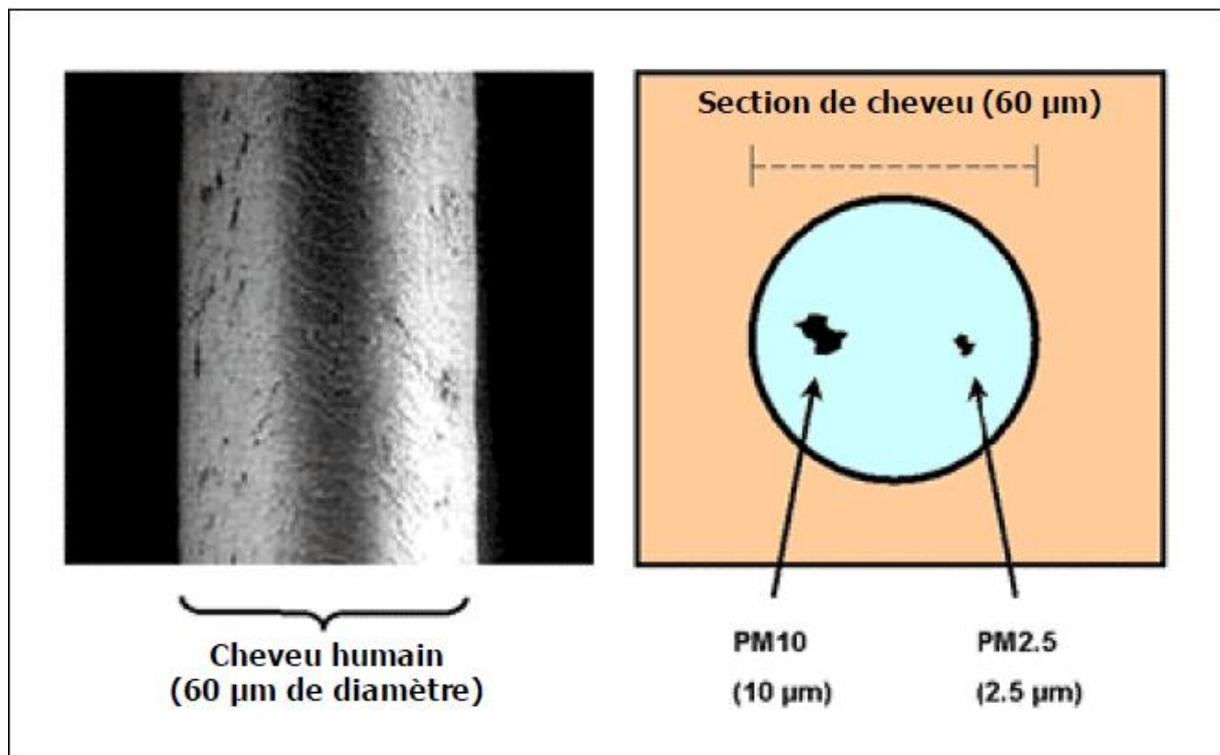
La fraction **PM<sub>2,5</sub>** résulte d'activités anthropiques : émissions des moteurs diesel, les suies des processus de combustion, la transformation chimique des gaz polluants en sulfates et en nitrates et tous déchets de combustion [Imrich *et al.*, 2000; Choi *et al.*, 2004]. A toutes ces particules pourront s'adsorber différentes substances comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ou des métaux (Pb, Ni, etc.).

Dans cette catégorie, les ions ammoniums et sulfates sont les principaux constituants en masse.

**Les particules ultrafines (dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 0,1  $\mu\text{m}$ .)**

En termes de masse, elles représentent une petite partie **des  $\text{PM}_{10}$** . Par contre leur nombre est très important. Le prélèvement de ces particules fait encore face à des difficultés techniques.

Les particules grosses et lourdes vont sédimenter rapidement, d'où le qualificatif de **particules sédimentables**. Au contraire, les particules plus fines vont avoir un comportement s'apparentant à celui des gaz et de ce fait ne sédimenteront quasiment pas ; elles sont appelées **particules en suspension** et peuvent parcourir d'importantes distances car incapables de se déposer au sol sous l'effet de la gravitation.



**Figure 1. Repère de taille des particules  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$**

**II.1.2.2.2. La composition chimique des particules**

Un autre critère de classification des particules en suspension est la composition chimique.

Les principaux composés des particules sont :

- Des éléments minéraux liés à l'érosion de la chaussée et des sols,
- La remise en suspension de particules déposées au sol,
- Des noyaux carbonés (issus de composés organiques produits lors des combustions incomplètes),
- Des sulfates  $\text{SO}_4^{2-}$  ou des nitrates  $\text{NO}_3^-$  résultant des transformations de  $\text{SO}_2$  et  $\text{NO}_x$ ,
- Des ions métalliques adsorbés ou condensés à la surface des particules,
- Des sels d'ammoniums produits par la neutralisation des aérosols acides par l'ammonium présent dans l'air du fait de l'activité biologique [Société française de sante publique, 1996].

### **II.1.2.2.3. La nature des particules**

Les particules constituent un ensemble très hétérogène dont la qualité, sur le plan physique, chimique et/ou biologique est fort variable selon que les sources d'émission sont locales ou plus éloignées, selon la saison (variation de la chimie atmosphérique) [Société française de santé publique, (1996)], et on distingue :

#### **II.1.2.2.3.1. Les particules minérales**

Le trafic automobile engendre des poussières minérales par suite du roulage sur les sols et les chaussées (mise en suspension de particules en quartz) et de l'usure des pneumatiques.

Cette usure a tendance à engendrer des particules de taille relativement grande ( $>7\mu\text{m}$ ) [Joumard, 1981].

Une autre source de particules minérales automobile provient de l'usure des garnitures de freins et d'embrayage qui contiennent une certaine quantité d'amiante [Lynch, 1968].

Enfin des oxydes métalliques peuvent être émis à l'échappement des véhicules :

- Oxydes de calcium provenant des additifs des lubrifiants.
- Oxydes d'aluminium provenant de l'attrition des supports de catalyseurs [Beltzer, 1976].

### II.1.2.2.3.2. Les particules organiques

Ces particules sont composées de produits complexes et divers. Leur agressivité est fortement liée à leur composition et parmi eux les particules diesel.

L'évolution des émissions des sources mobiles met en exergue le problème des émissions de particules des véhicules et notamment ceux roulant au diesel.

Ces aérosols sont constitués de suie solide (carbone) et des combinaisons chimiques qui découlent notamment de la présence de soufre dans le gazole et de l'huile. Ils sont imprégnés par les hydrocarbures imbrulés (HAP) (voir figure 2) [ASPA en Alsace, 2001].

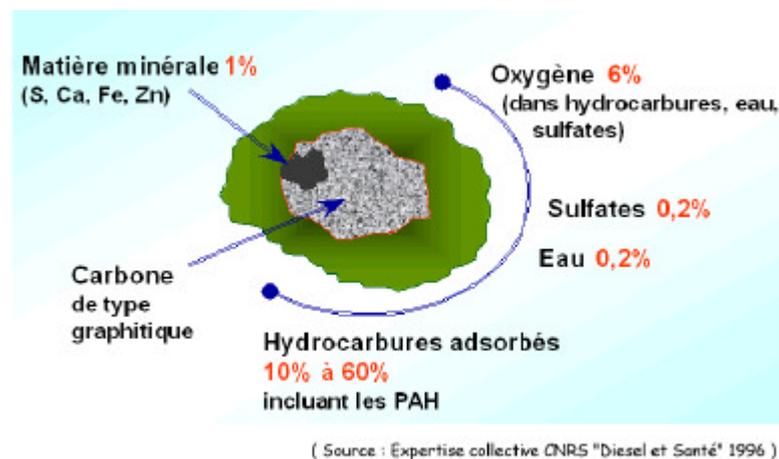


Figure 2. Composition moyenne des particules diesel en pourcentage du poids total.

### II.3. Formation et évolution des particules

Dans un domaine considéré, le devenir d'un aérosol se simplifie en deux étapes. Après sa formation, à partir de phénomènes mécaniques ou de nucléation, l'aérosol peut subir des transformations, être transporté, se déposer et être remis en suspension [Boulaud, 2000] (voir figure 3).

#### II.1.3.1. Formation des particules

La présence des aérosols dans l'atmosphère est la conséquence de deux phénomènes :

- la production mécanique par la mise en suspension de matériaux directement émis dans l'atmosphère,
- la transformation de gaz en particules (nucléation homogène entre des molécules gazeuses pour former une vapeur capable de se condenser, ou nucléation hétérogène

sur des noyaux solides préexistants dans l'atmosphère) soit par fragmentation des liquides ou des solides. Les particules formées à partir de la conversion gaz - particules sont plus fines (submicroniques) que celles formées par fragmentation de liquides ou de solides (supermicroniques) [ASPA, 2001].

### **II.1.3.2. Evolution des particules**

Les aérosols ne sont pas inertes et peuvent interagir avec leur environnement immédiat. La durée de vie des aérosols de tailles moyennes (0,1 à 10  $\mu\text{m}$ ) dans l'atmosphère permet des réactions chimiques (en phase homogène ou hétérogène) de se produire.

Les aérosols hygroscopiques possèdent une dynamique qui leur est propre.

Les processus de formation et d'évolution des aérosols dans l'atmosphère sont :

- **Croissance par condensation** : lors de la nucléation, les agrégats formés augmentent lorsque la pression de vapeur est sursaturante) permettant des collisions et conduisant à des agrégats stables de plus grandes tailles qui grossissent par condensation.
- **Croissance par coagulation** : la coagulation est un processus d'adhésion ou de fusion d'une particule d'aérosol avec une autre. La dimension des particules augmente tandis que leur nombre décroît.
- **Cycle évaporation condensation** : les aérosols (gouttelettes) peuvent passer par plusieurs phases d'évaporation - condensation durant lesquelles la composition chimique évolue. Sur une plus longue distance, le devenir des aérosols dans l'atmosphère est gouverné par des phénomènes de convection ou des transports. De plus les aérosols sont retirés de l'atmosphère par déposition sur le sol. Enfin ces dépôts peuvent être remis en suspension [ASPA en Alsace, 2001].



### **II.1.5. Les mécanismes d'élimination des particules**

Les particules peuvent être éliminées de l'atmosphère par des processus de piégeage, lessivage ou par gravitation. Le premier phénomène concerne les particules qui se trouvent piégées lors de la formation des gouttes d'eau nuageuses. Le second mécanisme se produit lorsque les particules atmosphériques sont lessivées durant les précipitations. Le dernier phénomène est le dépôt sec.

#### **II.1.5.1. Le dépôt sec**

Le dépôt sec ou sédimentation, concerne essentiellement les particules les plus grosses (>5 µm) ainsi que celles proches de la surface qui se déposent rapidement (quelques heures) [ASPA en Alsace, 2001].

Il est exprimé par la relation empirique suivante :

$$D_s = V_d \cdot X_z$$

$D_s$  : flux de retombées des particules en µm/m<sup>3</sup>.s

$V_d$  : vitesse de dépôt sec en m/s

$X_z$  : concentration des particules à une altitude Z en µm/m<sup>3</sup>

#### **II.1.5.2. Le dépôt humide**

Le dépôt humide est la principale voie d'élimination des particules. Il est composé de deux processus : le « rain-out » et le « wash-out ».

##### **a) Le « rain-out »**

Il résulte de la capture des particules par les gouttelettes d'eau nuageuse en cours de format

##### **b) Le « wash-out »**

Il résulte du piégeage des particules lors d'événements pluvieux, entre le nuage et le sol, soit par capture à la suite de chocs, soit par entrainement de l'air déplacé lors de la chute des gouttes.

Le dépôt humide est défini comme étant la masse de particules entraînées par la pluie. Il est donné par la relation [Stern, 1984] :

$$D_H = X_m \cdot H \cdot \Omega \cdot t$$

$D_H$  : dépôt humide en  $\mu\text{m}/\text{m}^3$

$X_m$  : concentration moyenne de poussières dans une colonne de hauteur  $H$  (m) en  $\mu\text{m}/\text{m}^3$

$\Omega$  : coefficient de lavage en  $\text{s}^{-1}$

$T$  : temps de précipitation en s

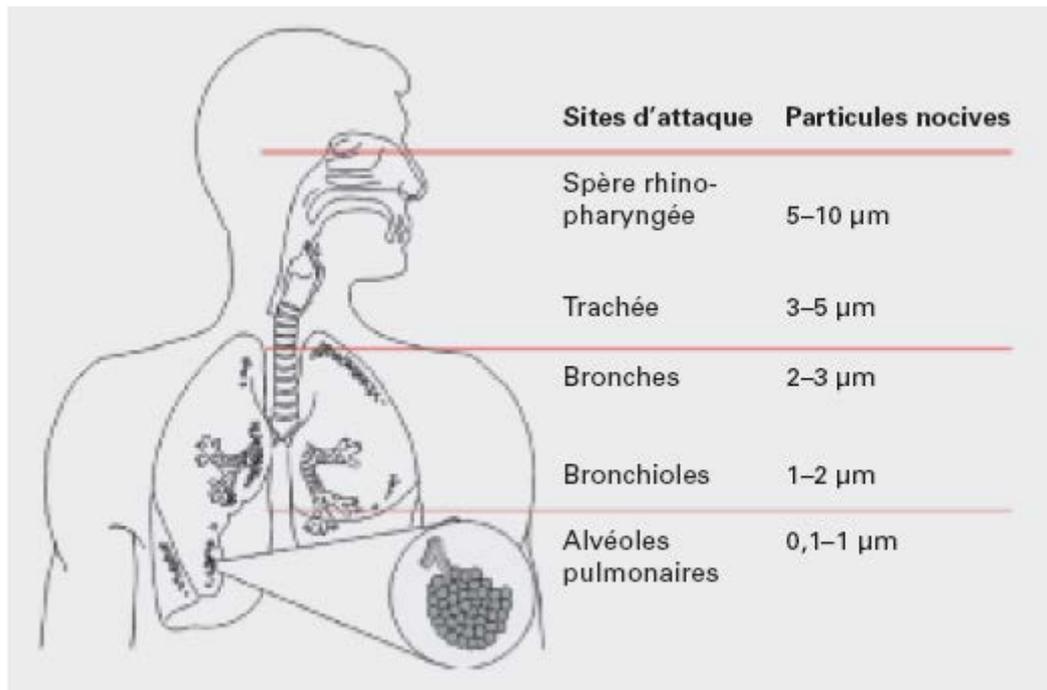
### **II.1.6. Effets des poussières**

#### **II.1.6.1. Effets sur la santé**

Au cours des dernières décennies, de nombreuses études ont mis en évidence l'importance de la pollution particulaire dans de nombreuses maladies cardio-pulmonaires et l'apparition de cancers des poumons. De nombreuses études épidémiologiques ont mis en relation la pollution particulaire avec des effets sur la santé à court terme (lors d'épisodes de pollution particulaire, augmentation des hospitalisations) mais aussi à long terme (morbidité, cancers des poumons, maladies cardio-pulmonaires).

Une étude épidémiologique réalisée dans l'union européenne en 2000 pour l'OMS a montré une corrélation entre l'augmentation de la mortalité et de la morbidité et la hausse de la quantité de particules atmosphériques [OMS, 2005].

Les recherches en matière de déposition de particules dans l'organisme montrent que la déposition est principalement fonction du diamètre aérodynamique de la particule (Figure 4).



**Figure 4. Dépôt de particules fines dans les voies respiratoires en fonction de la taille des particules.**

Une autre pathologie respiratoire chronique pouvant être induite par les particules est l'asthme. Les particules, notamment les PM10 sont également responsables de l'aggravation des symptômes de l'asthme du fait de leur capacité à entraîner une inflammation et à produire un stress oxydant [MacNee & Donaldson, 2000; Long *et al.*, 2005]. De plus, les données d'une étude réalisée par l'ACS (American Cancer Society), ont permis de montrer une corrélation entre des expositions prolongées à des particules fines et des cancers du poumon [Pope *et al.*, 2002]. De plus, en 2004 l'équipe de Harrison, en se basant sur cette même étude, a suggéré qu'il était possible que ces cancers soient dus à la présence de molécules reconnues comme carcinogènes (As, Ni, Cr et HAP) sur les PM<sub>2.5</sub>. Cependant, elle émet aussi l'hypothèse que les PM<sub>2.5</sub>, indépendamment de leurs compositions, pourraient entraîner des cancers du poumon [Harrison *et al.*, 2004].

#### II.1.6.2. Effets sur les écosystèmes

Les effets des aérosols atmosphériques sur les écosystèmes sont encore assez mal connus. En se déposant sur la plante, les particules peuvent avoir des effets directs sur son fonctionnement via des réactions physiques et/ou chimiques, tel que le blocage des échanges

gazeux, la dégradation ou l'abrasion de la cuticule, des salissures entraînant une diminution de l'activité de photosynthèse et le développement d'organismes pathogènes, comme les champignons. Ces effets sont essentiellement rencontrés de façon localisée, à proximité immédiate des sources. Mais les particules peuvent aussi avoir un impact sur les écosystèmes en modifiant le milieu, notamment l'eau et le sol et par l'acidification et la contamination par dépôt de polluants toxiques tels que les polluants organiques persistants (HAP ou dioxine par exemple) [U.S.EPA. 2004 ; Primqual-predit, 2005].

### **II.1.6.3. Effets sur le climat**

Les aérosols jouent un rôle important sur le climat car ils participent au bilan radiatif de la terre ; ils ont des effets directs en agissant directement avec le rayonnement solaire, et des effets indirects en modifiant les propriétés des nuages. En effet, les particules atmosphériques diffusent, et éventuellement absorbent la lumière du soleil. Il ya donc une perte de lumière avant qu'elles n'atteignent le sol, directement liée à la taille des particules. Elles influent également sur la nébulosité et la pluviométrie en participant à la formation des nuages ainsi qu'à leur durée de vie. Les très fines particules servent de noyaux de condensation, c'est-à-dire que la vapeur d'eau présente dans l'air va se condenser à leur contact et former des gouttelettes dans les nuages, pouvant donner des précipitations si leur taille augmente suffisamment. Enfin, les aérosols influent sur le climat par leur implication dans les épisodes de la pollution photochimique. Il est donc primordial de les prendre en compte dans le cadre de l'étude du réchauffement climatique [Masclat, Cachier 1998 ; Chazette, 2004].

### **II.1.6.4. Effets sur les bâtisses**

Le processus d'altération des bâtiments résulte de l'action combinée des différents éléments atmosphériques ayant pour effet de modifier la couleur, la texture, la composition ou la forme des édifices qui y sont exposés, conduisant finalement à une perte de matière et à un aspect inesthétique du patrimoine bâti. Néanmoins, les particules, essentiellement carbonées (suies et cendres volantes), sont principalement responsables du noircissement des façades. Elles se déposent à la surface des édifices et conduisent à leur empoussièrément et à la formation de croûtes noires [Lefèvre ; Ausset, 2001].

## **II.2. La pollution métallique**

### **II.2.1. Les métaux lourds**

#### **II.2.1.1. Généralités**

On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup> [<http://www.danger-santé.org>].

Les métaux lourds proviennent de la combustion du charbon et du pétrole, de l'incinération des déchets ménagers et de certains procédés industriels. Ils s'accumulent dans les organismes vivants et ont des effets toxiques à court et à long terme. Certains, comme le cadmium, sont cancérigènes [IFEN 2006].

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles. On dit que les métaux sont présents en traces.

La classification des métaux lourds est d'ailleurs souvent discutée car certains métaux toxiques sont particulièrement « lourds » (le zinc par exemple), tandis que certains éléments toxiques ne sont pas tous des métaux (l'arsenic par exemple).

Pour ces différentes raisons la plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation métaux lourds, l'appellation «éléments métalliques en traces » ou ETM [<http://www.danger-santé.org>].

#### **II.2.1.2. Effets des métaux lourds**

Les métaux lourds peuvent pénétrer dans l'organisme par ingestion (via la chaîne alimentaire notamment), mais également par inhalation. Les effets toxiques ne se manifestent qu'au delà de certaines doses, mais «il n'y a pas d'accord général sur les doses à risque, la seule certitude est qu'on ne connaît, à ce jour, aucun rôle biologique utile à l'homme et que, par conséquent, moins l'homme ingère ou adsorbe de métaux lourds mieux c'est.» [Office Parlementaire d'Evaluation des choix scientifiques et technologiques, 2001].

**II.2.1.2.1. Le plomb**

Elément très toxique, il est issu de la combustion des carburants contenant du plomb tétraéthyle et/ou du plomb tétraméthyle. Le tétraéthyle de plomb (IV) ( $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ ) est le principal constituant des agents antidétonants ajoutés à l'essence pour empêcher l'explosion prématurée des mélanges air-essence dans les moteurs à combustion interne. Cependant, il semble que ce composé contribue de façon significative à la pollution de l'air.

Il provient également, à moindre degré, des substances anti- usure des lubrifiants [Malbreil, 1997].

Dans les villes, 90% du plomb est émis par les véhicules ; 10% du plomb se répand dans un rayon de 100 m autour de la route, le reste est largement dispersé [OCDE, (1995)].

**II.2.1.2.2. Le manganèse**

Le manganèse en lui-même n'est pas considéré comme toxique aux concentrations ambiantes [Lioy, 1987 ; Beltzer, 1976]. Les teneurs rencontrées dans l'air ambiant sont en majorité dues à l'érosion des sols.

Il a été émis par les échappements automobiles entre 1975 et 1978 lors de son utilisation comme additif antidétonant en substitution du plomb et sous forme de méthylcyclopentadienylmanganèse tricarbonyle (MMT) [Guibet et Martin, 1987], incorporé dans les essences, à raison de 0.03 g/l.

Les risques de bouchage des supports catalytiques l'on fait abandonner comme additif [Johnson, 1988].

Seul le Canada l'emploie toujours comme antidétonant. [Hurley *et al.*, 1989].

**II.2.1.2.3. Le cadmium et le zinc**

Le cadmium est également un des métaux considérés parmi les plus toxiques. La combustion des carburants n'est pas source de cadmium. Il peut par contre être émis à partir des additifs des lubrifiants à base de zinc.

Le cadmium est l'impureté associée au zinc et à l'usure des pneumatiques contenant des additifs au naphthénate et acétate de cadmium. Le zinc est un polluant beaucoup moins nocif que le cadmium.

Les émissions automobiles de zinc correspondent aux additifs à base de dithiophosphates de zinc employés dans les lubrifiants.

Une consommation d'huile de 0.12 l/1000 km entrainerait des émissions de zinc de 0.15 mg/km, taux ayant pu être observé sur véhicule sans pot catalytique [Beltzer, 1976].

### **II.2.1.3. Les principaux métaux lourds**

Les ETM les plus connus pour leur dangerosité sont : le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), les trois premiers métaux (Pb, Hg, Cd) ont quelques caractéristiques physico-chimiques communes :

- Ils ne se détruisent pas : ils transportent et changent de forme chimique.
- Ils ont une conductivité électrique élevée, qui explique leur utilisation dans de nombreuses industries.
- Mais surtout ils présentent une certaine toxicité pour l'homme, entraînant notamment des lésions neurologiques plus ou moins graves, tandis que tous les autres, ont une utilité dans le processus biologique.

Certains métaux comme les oligo-éléments, sont même indispensables à la vie comme (le fer, le cuivre, le nickel, le chrome....) [<http://www.danger-santé.org>].

#### **II.2.1.3.1. Le cadmium**

Il est émis par la production de zinc et l'incinération des déchets essentiellement, la combustion à partir des combustibles minéraux solides, du fioul lourd et de la biomasse, engendre une part significative des émissions [[www.citepa.org](http://www.citepa.org)].

La combustion des carburants n'est par contre pas une source de cadmium, il peut être émis à partir des additifs des lubrifiants à base de zinc et par usure des pneumatiques [Degobert P 1992].

Le cadmium se détecte dans le sang et les urines, et s'accumule dans le foie et les reins [Boutonnet, 2000].

Les autres effets sanitaires du cadmium sont :

- Maladies des os : ostéo- arthrite et polyarthrite rhumatoïde.

- Maladies cardiovasculaires, cirrhose, diabète, troubles digestifs, maladies rénales, dommage du foie, dommage des cellules nerveuses, troubles de la reproduction (infertilité), troubles de la croissance, maux de tête, maladies pulmonaires, accidents vasculaires cérébraux ; de plus les oxydes, chlorures, sulfates et sulfures de cadmium sont classés cancérogènes [Boutonnet, 2000].

#### **II.2.1.3.2. Le plomb**

Le plomb se trouve en petites concentrations dans la croûte terrestre, surtout sous forme de sulfure de plomb, mais sa présence largement répandue dans l'environnement est en grande partie une conséquence de l'activité industrielle (utilisation de minerais dans l'industrie métallurgique, récupération des vieux métaux, batteries), et de l'utilisation historique de plomb dans les conduites, les peintures et les additifs dans l'essence [IARC 2006].

Le plomb est actuellement surtout utilisé dans les batteries acide-plomb (batteries automobiles et autres accumulateurs), et dans une moindre mesure dans les matériaux de construction (étanchéité, protection contre le rayonnement, le bruit, les vibrations, la corrosion acide,...) et les produits chimiques à base de plomb [IARC, 2006 ; INERIS, 2003].

Le plomb issu de l'automobile se trouve en majeure partie sous forme de fines particules minérales (oxydes, sulfates ou halogénures) et en très faible proportion sous la forme organique, telle qu'ajoutée dans l'essence (<1%) [Henderson 1984].

L'exposition au plomb peut avoir des conséquences néfastes pour la santé, allant de troubles gastro-intestinaux et hématologiques à une toxicité hépatique, rénale, neurologique et développementale, le plomb excédentaire s'accumule principalement dans les os, il s'accumule également dans les dents, les ongles et les cheveux et passe facilement la barrière placentaire par simple diffusion [INERIS 2003].

#### **II.2.1.3.3. Le cuivre**

La concentration du cuivre dans l'écorce terrestre est estimée à environ 70 ppm. Les principales sources naturelles d'exposition au Cu sont les érosions éoliennes, les éruptions volcaniques, les décompositions végétales, les feux de forêts et les embruns marins.

Les sources anthropiques sont :

- L'industrie du cuivre et des métaux en général.
- L'industrie du bois.
- L'incinération des ordures ménagères.
- La combustion du charbon, d'huiles et d'essence.
- La fabrication des fertilisants [Pichard, 2005 ; [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)].

Le cuivre est un élément essentiel pour la santé ; il favorise la production d'hémoglobine [Ministère de l'environnement de Ontario (Canada), 2001].

Une exposition au cuivre à long terme peut provoquer une irritation du nez, de la bouche et des yeux ainsi que des maux de tête, des maux d'estomac, des vertiges, des vomissements et des diarrhées [[www.lenne.tech.com](http://www.lenne.tech.com)].

#### **II.2.1.3.4. Le zinc**

Le zinc est naturellement présent dans les roches magmatiques, les sédiments argileux et les schistes de la croûte terrestre à des concentrations de 40 à 120 mg/kg principalement sous forme de blende. On le trouve également dans le charbon, les bitumes et le pétrole.

Il peut être transporté sur de longues distances et est rejeté dans l'atmosphère sous forme de poussières et fumée.

Le zinc et ses composés ont de très nombreuses applications industrielles : revêtement de métaux (galvanisation...), préparation d'alliages, imprimerie et teinture. Les sels de zinc sont eux utilisés dans la fabrication de pigments pour peinture, émaux, matières plastiques, caoutchouc, la préparation de produits pharmaceutiques et d'insecticides. Sa présence dans le milieu provient également de l'usure des pneumatiques sur les chaussées, et de l'usure des chenaux (zinguerie) des bâtiments [Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 2002].

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

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

protéines et provoquer de l'artériosclérose. Une exposition intensive au chlorure de zinc peut provoquer des désordres respiratoires [Harry, 1989].

### II.2.1.3.5. Autres métaux

Les autres métaux rencontrés dans l'environnement atmosphérique des centres urbains proviennent de sources diverses : usure des roches et sols (magnésium, aluminium, fer, chrome), des huiles de graissage (baryum, cobalt), des lubrifiants et plaquettes de frein (sélénium), garniture de frein et disque d'embrayage (arsenic, chrome).

Les propriétés physico-chimiques des éléments analysés dans cette étude sont reprises dans le tableau 2. Leurs principales sources et leurs utilisations sont représentées dans le tableau 3.

	<b>Cadmium</b>	<b>Plomb</b>	<b>Cuivre</b>	<b>Zinc</b>	<b>Fer</b>
<b>Numéro atomique</b>	48	82	29	30	26
<b>Masse atomique</b>	112.40 g	207.20 g	63.546 g	65.38 g	55.845 g
<b>Masse volumique</b>	8.64 g/cm <sup>3</sup>	11.34 g/cm <sup>3</sup>	8.9 g/cm <sup>3</sup>	7.14 g/cm <sup>3</sup>	7.86 g/cm <sup>3</sup>
<b>Température de fusion</b>	321 °C	328 °C	1080 °C	420 °C	1540 °C
<b>Température d'ébullition</b>	765 °C	1740 °C	2565 °C	907 °C	2750 °C
<b>Symbole chimique</b>	Cd	Pb	Cu	Zn	Fe

**Tableau 2. Propriétés physico-chimiques de quelques métaux lourds [Encarta, 2009]**

Métal	Source, propriété et utilisation
<b>Cd</b>	<p>-Le cadmium est un élément métallique blanc brillant, malléable et ductile, C'est le 65<sup>e</sup> élément naturel le plus abondant dans la croûte terrestre.</p> <p>-À l'état naturel, on trouve le cadmium sous forme de sulfure dans un minéral rare : la greenockite. On le rencontre également avec le zinc dans les blendes et les calamines. On obtient le cadmium comme sous-produit dans le raffinage des minerais de zinc. Le cadmium peut être électrodéposé en tant que revêtement de certains métaux, principalement le fer et l'acier, sur lesquels il forme un revêtement chimiquement résistant. Les sels de cadmium sont utilisés dans la fabrication des piles au nickel et au cadmium, dans la fabrication de caoutchouc, de peintures fluorescentes, de verre et de porcelaine. Le cadmium et les solutions de ses composés sont fortement toxiques et ont des effets cumulatifs similaires à ceux de l'empoisonnement au mercure.</p>
<b>Pb</b>	<p>-Le plomb est largement répandu à la surface du globe,- Le plomb métallique est mou, malléable et ductile : on le met facilement en forme lorsqu'il est chauffé à température modérée, il est mauvais conducteur d'électricité.</p> <p>Les principales sources de plomb sont situées en Australie, aux États-Unis, au Canada, au Mexique, au Pérou et en ex-URSS.</p> <p>Lorsque le plomb est mis en présence d'acide sulfurique, il se forme une couche protectrice de sulfate), qui stoppe l'attaque acide. Dans l'air, il réagit lentement avec l'eau pour former l'hydroxyde de plomb, mélangé à l'étain, il était utilisé par les Romains pour souder les conduites d'eau. D'importantes quantités de plomb sont utilisées dans les batteries et dans les gaines des câbles électriques ainsi que dans l'industrie pour garnir les conduites. Parmi les nombreux alliages contenant un pourcentage important de plomb figurent certaines soudures et différents métaux antifriction. Une quantité considérable de plomb est également consommée sous forme de dérivés, en particulier dans les peintures et les pigments.</p>
<b>Cu</b>	<p>Le cuivre est un élément chimique métallique de couleur rouge-brun, moyennement abondant dans la croûte terrestre, le cuivre est inégalement réparti à la surface du globe et la plupart des gisements sont situés dans l'hémisphère Sud.</p> <p>Le cuivre pur est très malléable et ductile. C'est un excellent conducteur d'électricité. On l'utilise surtout pour sa conductivité électrique, la plus importante de tous les métaux industriels.</p> <p>Ainsi, on l'emploie pour fabriquer des dispositifs électriques, tels que les câbles, les fils ou les appareillages électriques. Le cuivre étant en outre très ductile, on peut l'étirer en fils de diamètres variés, en raison de son coût inférieur, l'aluminium a remplacé le cuivre dans certaines applications, en particulier dans la production des fils et des câbles. On l'utilise également dans les toitures, les canalisations d'eau et de gaz en raison de sa résistance à la corrosion, il est facilement déposé par galvanoplastie, seul ou allié à d'autres métaux.</p>

<b>Zn</b>	<p>Le zinc est assez abondant dans la croûte terrestre. On ne le trouve pas à l'état libre dans la nature, mais sous forme d'oxyde de zinc (ZnO). Le zinc est employé soit sous forme massive, soit allié à d'autres métaux. Il est principalement utilisé comme revêtement protecteur anti-corrosion des aciers et en photogravure. On le trouve également dans les plaques des piles électriques sèches. Il est employé comme pigment dans les peintures, comme charge dans les pneus en caoutchouc, ainsi qu'en médecine comme pommade antiseptique. On trouve également le sulfure de zinc dans les applications utilisant l'électroluminescence, la photoconductivité, la semi conductivité et dans d'autres dispositifs électroniques. Il sert aussi d'élément phosphorescent dans les revêtements fluorescents, ainsi que dans l'industrie pharmaceutique et dans le traitement des eaux industrielles. Les alliages à base de zinc très pur sont d'une importance industrielle croissante. Ils sont en particulier utilisés en fonderie sous pression car on peut en effet facilement les mouler.</p>
<b>Fe</b>	<p>Le fer est mou, malléable et ductile. Il est facilement magnétisable aux températures ordinaires, mais difficilement lorsqu'il est chauffé</p> <p>Le métal existe sous trois différentes formes allotropiques : le fer ordinaire, ou fer <math>\alpha</math>, le fer <math>\gamma</math> et le fer <math>\delta</math>, il se corrode en formant un oxyde ferrique hydraté, brun rougeâtre et lamellaire, la rouille. La formation de la rouille est due à un phénomène électrochimique.</p> <p>Le fer métallique existe à l'état libre en peu d'endroits, notamment à l'ouest du Groenland. C'est le 4<sup>e</sup> élément le plus abondant dans la croûte terrestre. Proche de l'aluminium par ses propriétés, c'est le plus abondant des métaux. De petites quantités de fer sont présentes sous forme combinée dans les eaux naturelles, les plantes et le sang. Le fer est surtout utilisé après traitement chimique. Il s'agit du fer forgé, de la fonte et de l'acier. Le fer commercial pur est utilisé dans la production de feuilles de métal galvanisées et d'électroaimants. Des composés contenant du fer sont utilisés en médecine pour le traitement de l'anémie, c'est-à-dire lorsque la quantité d'hémoglobine, ou le nombre de globules rouges dans le sang, est trop faible. On trouve également le fer dans les fortifiants.</p>

**Tableau 3. Source, propriété et utilisation de quelques métaux lourds [Encarta, 2009]**

## **CHAPITRE III. Les paramètres influençant la dispersion des polluants**

### **III.1. Les facteurs météorologiques**

Le climat est identifié comme un facteur influant sur la qualité de l'air, notamment en ayant un impact sur le comportement des polluants dans l'atmosphère.

La qualité de l'air n'est pas seulement dépendante de la quantité de polluants émise par les sources, elle est également liée aux conditions climatiques, météorologiques, topologiques et morphologiques du milieu. Une fois émise par une source de polluant, son évolution dans l'atmosphère est dépendante du vent, de la stabilité de l'atmosphère, du rayonnement solaire, de la topographie et morphologie du milieu [Bilan des données de pollution par les poussières (PM10), 2007].

#### **III.1.1. Le vent sa vitesse et sa direction**

Il existe une relation évidente entre la vitesse du vent et les niveaux de concentration de polluant. La dispersion des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent tandis qu'un vent faible favorise l'accumulation des polluants [Bilan des données de pollution par les poussières (PM10), 2007].

La direction du vent joue un rôle important dans le déplacement des polluants. Son rôle s'explique plus dans sa relation avec la topographie du site. En effet, la direction du vent influence directement le déplacement de polluant. Si le vent est stoppé par un obstacle, tel qu'un versant de montagne, on peut assister à une stagnation de polluant sur ce flan, ou une remontée de la pollution sur le versant [Deltras G et Paul E, 1998].

#### **III.1.2. La température**

Elle accélère considérablement les réactions entre les différents polluants. La température agit dans la formation de polluants secondaires tels que l'ozone en temps chaud d'été et un fort ensoleillement, par contre en temps stable d'hiver avec la formation d'une couche d'inversion, elle entraîne la stagnation des polluants.

La température décroît avec l'altitude. L'air chaud contenant les polluants au niveau du sol se disperse verticalement. En condition d'inversion de température ou inversion thermique, le sol s'est refroidi de façon importante pendant la nuit (rayonnement terrestre nocturne

notamment). La température à quelques centaines de mètres d'altitude est donc supérieure à celle mesurée au niveau du sol. Les polluants se trouvent alors bloqués sous une "couche d'inversion" qui joue le rôle de couvercle thermique. Si, au même moment, il n'y a pas de vent, les polluants augmentent dans des proportions importantes [Bilan des données de pollution par les poussières (PM10), 2007].

### **III.1.3. L'humidité relative**

Elle joue un rôle dans le «captage» des particules polluantes, les gouttelettes d'eau en suspension retiennent les polluants, ce qui accroît leur stagnation [Deltras G et Paul E, 1998].

La présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère est considérée comme un facteur météorologique défavorable au phénomène d'auto purification de l'atmosphère parce qu'elle empêche la dispersion des polluants [Barnea. M, 1974, citepa].

### **III.1.4. La nébulosité**

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

### **III.1.5. Les précipitations**

La pluie et la neige réalisent le lessivage, l'absorption et l'entraînement vers le sol des polluants et donc la diminution de leur concentration dans l'atmosphère.

### **III.1.6. La turbulence atmosphérique**

Les situations dépressionnaires (basse pression) correspondent généralement à une turbulence de l'air assez forte et donc à de bonnes conditions de dispersion, en revanche, des situations anticycloniques (haute pression) ou la stabilité de l'air ne permet pas la dispersion des polluants entraînent des épisodes de pollution [Bilan des données de pollution par les poussières (PM10), 2007].

### **III.1.7. La topographie**

Les effets de la topographie sont essentiels dans les mécanismes de dispersion des polluants. La stabilité atmosphérique combinée à une topographie complexe empêche la circulation de l'air et donc l'évacuation des polluants [Deltras G et Paul E, 1998].

## **CHAPITRE IV. Description du milieu urbain à Constantine**

### **IV.1. Présentation de la ville**

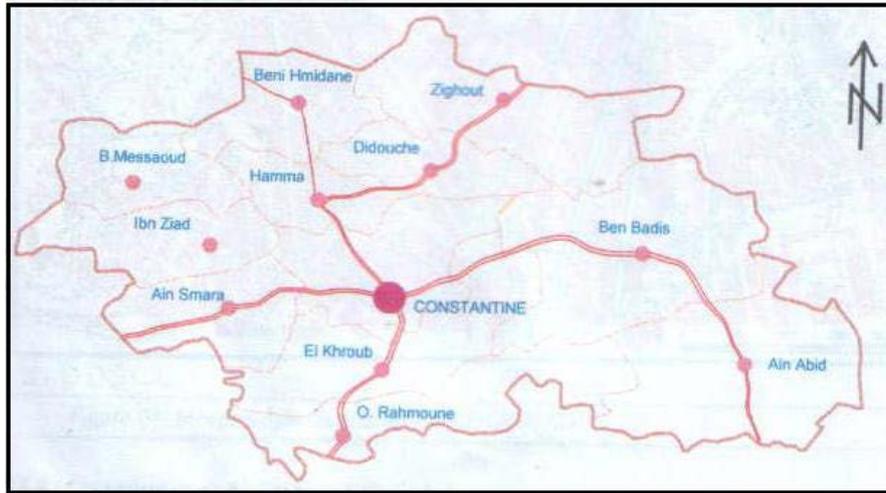
Constantine est une ville du nord de l'Algérie (figure 5). La ville s'étend sur un plateau rocailleux à plus de 640 m au-dessus du niveau de la mer et est entourée par les gorges profondes du Rummel [encarta, 2009]. Constantine est peuplée de plus de 750 000 habitants. Elle est considérée comme étant la troisième ville la plus importante en termes de population. De nombreux projets sont en cours tels que le tramway (début de service prévu en 2013) avec un flux de 6000 passagers/h, un pôle universitaire, la réalisation d'un pont géant ainsi qu'une nouvelle aérogare pour l'aéroport de Constantine-Mohamed Boudiaf.

En juin 2008 le téléphérique de Constantine a été ouvert au public. Il est d'une longueur totale de 2.3 km, avec trois stations. L'autoroute est-ouest traverse Constantine au niveau de l'aéroport d'Ain El Bey et de l'université Mentouri au sud de la ville et la traverse aussi à l'est.

Le climat de Constantine est continental et est caractérisé par une chaleur de 25° à 40° en été et de 0° à 14° en hiver.

### **IV.2. Constantine et la pollution urbaine**

Constantine a connu ces dernières années une extension de son tissu urbain ainsi qu'une industrialisation remarquable et cela aux dépens des terres agricoles, ce qui a nuit à la qualité de vie et à la santé publique. Cette pollution urbaine est due aussi à l'absence et à la destruction des espaces verts.



**Figure 5. Carte représentative de Constantine et ses environs**

#### **IV.2.1. Les industries**

L'industrie est certes un des facteurs majeurs de relance économique mais aussi de dégradation de la qualité de l'air et de l'environnement en général. Dans la ville de Constantine, les principales industries sont :

- Au nord, la zone industrielle de Didouche Mourad qui comporte plusieurs sociétés (ex : briqueterie, verrerie, production de céramique) en plus de la cimenterie de Hamma Bouziane.
- A l'ouest, la zone industrielle Palma (industrie pharmaceutique et agroalimentaire), les carrières et la décharge publique d'Aïn Smara.
- Du sud à l'est, la zone industrielle de Boumerzoug (industrie métallurgique) de Oued Hmimine (mécanique et métallurgie), et industrie des matériaux de construction d'El Khroub (Carrières de Bounouara qui est une entreprise nationale des granulats).

#### **IV.2.2. La circulation automobile**

La pollution d'origine automobile est très grande vu l'accroissement du parc automobile qui a été évalué à 116908 véhicules (tableau 4) selon les données de l'ONS du 31/12/2009 et qui risque de s'accroître à l'avenir.

<b>Mode d'exploitation</b>	<b>Moins de 5ans</b>	<b>5-10 ans</b>	<b>10-15 ans</b>	<b>15-20 ans</b>	<b>+ de 20 ans</b>	<b>Totale</b>
<b>Véhicule touristique</b>	22080	14386	8389	6947	29911	81713
<b>Camion</b>	1313	548	224	696	3747	6528
<b>Camionnette</b>	4218	2263	3350	2066	9921	21818
<b>Bus</b>	372	279	395	304	1154	2504
<b>Tracteur</b>	473	136	58	140	1089	1896
<b>Véhicule Utilitaire</b>	89	19	09	30	116	263
<b>Remorque</b>	457	185	131	373	845	1991
<b>Motocyclette</b>	07	14	26	04	144	195
<b>Totale</b>	29009	17830	12582	10560	46927	116908

**Tableau 4. Mode d'exploitation et âge du parc véhicule**

Dans le cadre de la lutte contre la dégradation du cadre de vie en ville, provoquée par les mauvaises conditions de circulation, la ville aujourd'hui se cherche un nouveau visage, très différent de celui d'une ville encombrée par le trafic urbain dont les principales caractéristiques sont :

- pollution de l'environnement urbain ;
- prédominance du transport individuel ;
- crise des déplacements collectifs et individuels ;
- mauvaise utilisation des voies ;
- très forte consommation d'espace urbain ;

Toutes ces questions semblent avoir été prises en considération par les autorités locales qui ont lancé le projet du tramway qui a pour objectif principal le désengorgement du centre ville.

Sur le plan environnemental, vis-à-vis du phénomène de l'embouteillage et ses problèmes qui s'accroissent de jour en jour, une certaine faiblesse et vulnérabilité sont à signaler. Cela est lié au fait que la priorité a été donnée au développement économique au détriment de la qualité de l'environnement, parce que d'une part on ne dispose pas de moyens

efficaces contre les nuisances, et d'autre part il y a une absence réelle d'une volonté politique qui prenne en considération l'importance de ces nuisances dans l'environnement.

**PARTIE 2.**

**MATERIEL ET METHODES**

## **CHAPITRE I. Matériels et méthodes**

### **I.1. Description et mode de fonctionnement du préleveur de poussières fines MiniVol TAS**

#### **I.1.1. Principe de fonctionnement**

L'échantillonneur de l'air portable MiniVol TAS peut être configuré pour prélever un seul type d'échantillons : PM2.5, PM10 ou PTS.

La pompe du MiniVol TAS aspire l'air à un débit de 5 litres/minute à travers un séparateur de taille (impacteur) puis à travers un filtre de 47 mm de diamètre. La séparation des particules de moins de 10  $\mu$  ou de moins de 2.5  $\mu$  est réalisée par « impaction », sinon les PTS peuvent être prélevés en enlevant l'impacteur.

L'échantillon de particules est piégé par le filtre qui doit être pesé avant et après le prélèvement à l'aide d'une balance présentant une précision de 0,1 mg. Les concentrations sont exprimées en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Le MiniVol TAS est équipé d'un accumulateur plomb-acide rechargeable et muni d'un système de coupure en cas de charge faible. L'autonomie de l'accumulateur est de 24 heures.

Le MiniVol TAS comprend un programmateur de 7 jours, un totalisateur de temps écoulé et un boîtier en PVC.

Le débit indiqué par le débitmètre doit être corrigé pour chaque campagne d'échantillonnage. Le calibrage permet de s'assurer que le préleveur fonctionne à un débit de 5 litres/minute. Il tient compte de la température et de la pression atmosphérique qui sont variables en fonction de l'altitude et des saisons.



Figure 6. Le collecteur (TAS)

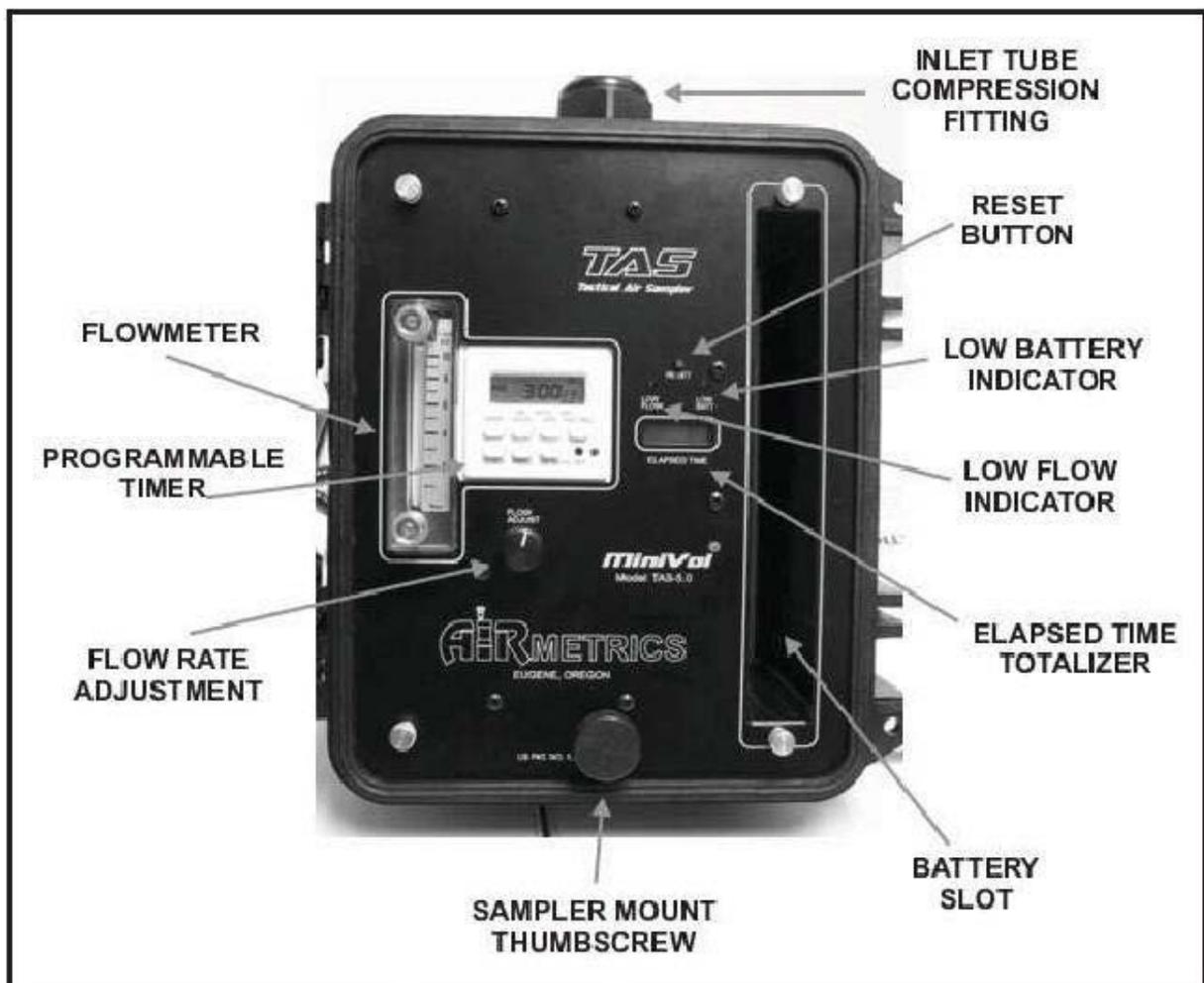


Figure 7. Contenu intérieur de l'échantillonneur (TAS)

## **I.1.2. Echantillonnage des particules**

### **I.1.2.1. Préparation de l'échantillonneur pour le prélèvement de PM10**

- S'assurer que l'impacteur de PM10 (couleur argent) est introduit dans l'ensemble impacteur/support de filtre. Ni l'adaptateur multiple ni l'impacteur PM2.5 ne sont nécessaires.
- Nettoyer et lubrifier l'impacteur au moins au terme d'une série de cinq prélèvements ou plus souvent si la charge est importante.

### **I.1.2.2. Débit**

Le seuil de coupure de l'impacteur est fonction de la vitesse de l'air qui le traverse. Le seuil de coupure correct est obtenu à un débit effectif de 5 l/min dans les conditions ambiantes. Puisque la densité de l'air et le comportement du débitmètre sont fonction des conditions de température et de pression ambiantes, un débit de consigne doit être calculé au début de chaque campagne d'échantillonnage. Le débit du préleveur doit être ajusté à ce débit de consigne afin que le débit traversant la tête de prélèvement soit maintenu à 5 l/min dans les conditions ambiantes et pour que le seuil de coupure nominal de 10  $\mu$  soit observé.

### **I.1.2.3. Installation du filtre**

Cette opération devrait avoir lieu au laboratoire pour des raisons de propreté. Le contact avec les filtres devrait être limité aux extrémités à l'aide d'une pince. Les filtres devraient être préservés dans des boîtes de Pétri.

- Sélectionner un filtre et ouvrir la boîte de Pétri.
- En utilisant une pince appropriée, installer le nouveau filtre dans la cassette de filtre.
- Installer la cassette dans le support de filtre.
- Attacher une étiquette portant le numéro du filtre utilisé sur le support de filtre.
- Mettre l'ensemble support de filtre/impacteur dans un sachet en plastique ou compartiment adapté pour son transport au site de prélèvement. Il est préférable de garder l'ensemble en position verticale avant son installation sur le préleveur.

### **I.1.2.4. Sélection du temps d'échantillonnage**

Sélectionner les horaires et les jours du début et de fin de prélèvement.

### I.1.2.5. Procédure d'échantillonnage

1. Après assemblage de l'échantillonneur et son contrôle, l'installer en position verticale de sorte que le prélèvement se fasse par le haut dans un espace dégagé de tout obstacle dans un rayon minimal de 30 cm.
2. Installer l'échantillonneur sur une surface dure et plane.
3. Vérifier l'étanchéité de l'appareil. Pour cela, enlever le système de support de filtre du tube d'arrivée de l'air et tirer ce dernier complètement. Bloquer ce tube avec la paume de la main et mettre la pompe en fonctionnement. La bille dans le débitmètre devrait descendre à zéro et y rester sans bouger. Note : l'indicateur LED « Low Flow » sera activé et l'échantillonneur s'arrêtera après 15-20 secondes. Pour réactiver l'échantillonneur, appuyer deux fois sur le bouton de réinitialisation. Si la bille ne redescend pas au niveau zéro, cela indique l'existence d'une fuite dans les flexibles ou les raccords.
4. Accrocher le support de cassette de filtre au tube d'aspiration de l'air.
5. Remplir la feuille de route.
6. Ouvrir le boîtier de l'échantillonneur TAS et appuyer sur le bouton ON/AUTO/OFF pour actionner la pompe. La barre horizontale doit se mettre sur ON dans l'affichage LCD.
7. L'indicateur de faible débit (Low Flow Indicator LED) est activé lorsque le capteur de débit détecte une chute d'environ 10% du débit présélectionné. Si cette condition persiste pendant quelques secondes, le capteur de débit désactive la pompe et déclenche le LED. Le clignotement de ce dernier signale à l'opérateur que le prélèvement a été interrompu. L'erreur peut être corrigée en actionnant le bouton de réinitialisation « Reset Button » à deux reprises.
8. Ajuster le débitmètre au débit de consigne  $I_{sp}$ . Prendre la lecture du débitmètre au centre de la bille.
9. Appuyer sur ON/AUTO/OFF à deux reprises pour arrêter la pompe.
10. Appuyer sur ON/AUTO/OFF pour sélectionner le mode « Auto ». L'échantillonneur doit être réglé sur le mode « Auto » avant que l'opérateur ne quitte s'il doit fonctionner à des horaires pré-programmés.
11. Fermer le boîtier de l'échantillonneur.

### I.1.2.6. Récupération du filtre

Le filtre doit être récupéré dès la fin du prélèvement. Si le filtre est laissé pour des périodes prolongées, il peut être endommagé ou subir des variations de masse dues à une perte de particules, une déposition passive ou une volatilisation. Noter sur la feuille de route la température ambiante, la pression atmosphérique (de la station météorologique), le débit indiqué, le temps écoulé, les numéros de série du MiniVol TAS et de l'accumulateur..

1. Ouvrir le boîtier de l'échantillonneur et vérifier s'il existe des erreurs. Consulter la section « Error conditions » du manuel en cas de problème.
2. Vérifier l'horaire et le jour de la semaine sur le LCD correspondant.
3. Noter le débit de fin de prélèvement :
  - ✓ Appuyer sur ON/AUTO/OFF pour enclencher la pompe
  - ✓ Enregistrer le débit avec une précision de 0.25 l/min (lire au centre de la bille) avec le débitmètre en position verticale.
  - ✓ Appuyer deux fois sur ON/AUTO/OFF pour arrêter la pompe.
  - ✓ Remplacer le support de filtre actuel par un nouveau support (ensemble support de filtre et de l'impacteur).
  - ✓ Remplacer l'accumulateur
  - ✓ Noter le débit de début de prélèvement.
  - ✓ S'assurer que le programmateur de temps est réglé sur la période désirée et mis en mode AUTO.

### I.1.2.7. Filtre usagé

1. Au laboratoire, desserrer le support de filtre et enlever la cassette du filtre
2. Localiser la boîte de Pétri portant le numéro du filtre usagé.
3. A l'aide d'une mini-pince, enlever le filtre de la cassette et le placer dans sa boîte de Pétri originale avec la surface exposée du filtre en haut et en s'assurant de refermer le couvercle de la boîte de Pétri.
4. Pour éviter toute erreur, on peut attacher sur le support de filtre du préleveur une étiquette portant le numéro du filtre exposé et l'enlever dès que le filtre est récupéré et mis dans la boîte de Pétri correspondante.

### **I.1.3. Maintenance**

Un historique des opérations de maintenance de chaque MiniVol TAS devrait être préservé (incluant les pièces de rechange, leurs coûts, les dépenses).

Des fiches de contrôle devraient être utilisées pour consigner les activités de maintenance préventive ou curative et la courbe de calibrage ultérieure.

Le préleveur est constitué de quatre composants de base : ensemble impacteur/support de filtre, système de contrôle du débit, programmeur de temps et accumulateur.

#### **I.1.3.1. Ensemble impacteur/support de filtre**

##### **I.1.3.1.1. Nettoyage de l'impacteur/support de filtre**

La fréquence de nettoyage de cet ensemble varie en fonction de la qualité de l'air échantillonné et de la durée de prélèvement. Dans des conditions normales et pour des prélèvements de 24 heures, la pièce dénommée « Easy Maintenance Target » (EMT) de l'impacteur devrait être nettoyée et graissée après quatre prélèvements tandis que le reste de l'ensemble devrait être nettoyé avec de l'eau savonneuse puis rincé.

- ✓ Il faut contrôler les joints toriques de l'ensemble et les remplacer si nécessaire.
- ✓ Appliquer une fine couche de graisse aux joints toriques dans l'impacteur et le support de filtre.

NOTE : il ne faut pas graisser les joints toriques du support de filtre utilisés pour l'étanchéité de la cassette de filtre.

- ✓ Remettre l'EMT à sa place.

##### **I.1.3.1.2. Nettoyage de la pièce EMT**

- ✓ Essuyer l'EMT à l'aide d'un chiffon propre ou d'une serviette en papier.
- ✓ Mettre une petite quantité de graisse (possédant une faible pression de vapeur) sur l'applicateur (tel qu'une règle en acier inoxydable).
- ✓ Répartir la graisse sur l'EMT.
- ✓ L'excès de graisse peut être enlevé des bords de l'EMT
- ✓ Remettre l'EMT dans l'impacteur.

**I.1.3.2. Système de contrôle du débit**

Les tuyaux, l'amortisseur électronique et le filtre interne devraient être contrôlés régulièrement pour découvrir des fissures ou des obstructions. L'étanchéité des raccords doit être contrôlée. Le débitmètre doit être nettoyé et remplacé en cas d'absence de débit, de débit faible ou excessif ou de débit erroné qui n'est pas lié à une fuite. Le débitmètre peut être facilement nettoyé avec de l'eau tiède et un détergent.

**I.1.3.3. Programmeur de temps**

Une pile alcaline unique de type AA alimente le programmeur de temps. Sa durée de vie est de 6 mois. L'écoulement de la pile peut endommager l'horloge et le programmeur.

**I.1.3.4. Nettoyage/contrôle des valves et des diaphragmes de la pompe**

Après une utilisation prolongée, les valves et les diaphragmes de la pompe s'encrassent ou s'usent. Il en résulte un débit irrégulier et l'impossibilité d'ajuster la pompe avec précision. La pompe risque de ne plus pouvoir maintenir un débit supérieur à 6 l/min. Dans ces conditions, les valves de la pompe doivent être nettoyées ou remplacées. Les diaphragmes ne sont généralement pas affectés par la crasse mais peuvent s'user. Dans ce cas, ils doivent être remplacés.

Le côté de la pompe sur lequel les valves sont encrassées ou usées est identifié en pinçant les tubes d'arrivée de la pompe. Normalement, le débit devrait diminuer de la même manière des deux côtés lorsque les tubes sont pincés. En cas d'une diminution moins importante d'un côté que de l'autre, les valves sur ce côté devraient être nettoyées ou remplacées.

## FEUILLE DE CALIBRAGE

Station : EPSP Mentouri

Date :

Heure :

Modèle du collecteur : TAS

Opérateur :

Pa =            mb =            mm Hg ; Ta =            °C =            K

Conditions inhabituelles :

Date de calibrage de l'orifice: 10/06/2009

Droite de calibrage de l'orifice :  $m_{flo} = 5.5279$ ,       $b_{flo} = 0.0247$  ;       $r^2 = 0.9998$ 

Rotameter flow rates Qind	$\Delta H$ (in.)	Qact (l/min)	Q@std (l/min)
6.5			
6.0			
5.5			
5			
4.5			
4			

$$Q_{act} = m_{flo} \times \sqrt{\frac{\Delta H \times T_{act}}{P_{act}}} + b_{flo}$$

$$Q_{@std} = Q_{act} \times \sqrt{\frac{T_{std} \cdot P_{act}}{T_{act} \cdot P_{std}}}$$

$$Q_{@std} = m_{vol} Q_{ind} + b_{vol}$$

$$Q_{act} = (m_{vol} Q_{ind} + b_{vol}) \times \sqrt{\frac{T_{act} \cdot P_{std}}{T_{std} \cdot P_{act}}}$$

$m_{vol}$  = slope of the MiniVol™ flow rate calibration relationship =

$b_{vol}$  = intercept of the MiniVol™ flow rate calibration relationship =

$$I_{sp} = \frac{5.0 \times \sqrt{\frac{T_{std} \cdot P_{act}}{T_{act} \cdot P_{std}} - b_{vol}}}{m_{vol}}$$

<b>FEUILLE DE ROUTE DU COLLECTEUR TAS</b>			
<b>Station :</b>			
Lieu : ... ..	Date : ... ..	.....Heure	Heure <sub>f</sub> :
Modèle du collecteur : .....N/S.....			
N° du filtre : ... .. ; N/S de la batterie :			
P <sub>av</sub> = ..... mb = ..... mmHg ;			
T <sub>av</sub> = ... °C = .....K			
Précipitations (mm) (jour 1): yesterday :			
.....totales : .....			
Précipitations (mm) (jour 2): yesterday :			
.....totales : .....			
Vent: u <sub>i</sub> (m/s)= .....Ø <sub>i</sub> (°) =..... u <sub>f</sub> (m/s) = ..... Ø <sub>f</sub> = .....			
<b>Débit indiqué par le rotamètre</b>			
Q <sub>ind</sub> initial = ..... litres/minute			
Q <sub>ind</sub> final = ..... litres/minute			
Q <sub>ind</sub> moyen = ..... litres/minute			
<b>Opérateur :</b> .....			
<b>Commentaire</b> (conditions atmosphériques, feux de forêt, vent de sable, précipitations, etc.)			
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			
<b>Calcul au laboratoire :</b>			
<b>Débit Q<sub>act</sub> dans les conditions ambiantes</b>			
$Q_{act} = (m_{vol} \times Q_{ind,moy} + b_{vol}) \times \sqrt{\frac{P_{std}}{P_{act,moy}} \times \frac{T_{act,moy}}{T_{std}}} = (m_{vol} \times Q_{ind,moy} + b_{vol}) \times 2,549 \sqrt{\frac{T_{act,moy}}{P_{act,moy}}}$			
Temps affiché initial (indicateur de temps) =			
Temps affiché final (indicateur de temps) =			
Temps écoulé : .....h			
Volume V <sub>act</sub> (conditions ambiantes)			
$V_{act} (m^3) = \frac{60 \text{ min/hr} \times Q_{act} \times t (\text{hr})}{1000 \text{ l/m}^3}$			
Où t = temps de prélèvement			
$V_{std} = V_{act} \times \left( \frac{P_{act,moy}}{P_{std}} \right) \times \left( \frac{T_{std}}{T_{act,moy}} \right) = V_{act} \times 0,392 \left( \frac{P_{act,moy}}{T_{act,moy}} \right)$			
Tare = g			
Poids brut = g			
Poids net = g			
C(µg/m <sup>3</sup> ) = Poids net (g) x 10 <sup>6</sup> /V <sub>std</sub> (m <sup>3</sup> ) = µg/m <sup>3</sup>			

## **I.2. Station météorologique**

### **I.2.1. Description**

La station météo sans fil WMR928N est un système facile à utiliser. Le WMR928N permet de contrôler les éléments climatiques suivants:

- Température de l'air
- Pression atmosphérique
- Humidité relative
- Vitesse du vent
- Niveau des précipitations.

Le WMR928N offre les options suivantes :

- Horloge calendrier radio piloté avec alarme quotidienne
- Prévision météo dans un rayon de 32 à 48 Km (20 à 30 miles)
- Alarme météo
- Mémoire de relevés maximum et minimum
- Ecran tactile simple
- Port de connexion (RS232)
- Rétro-éclairage.

Le WMR928N est fourni avec les éléments suivants :

- Appareil principal (WMR928N)
- Anémomètre (WGR918N)
- Thermo-hygromètre (THG918N)
- Pluviomètre (PCR918N)
- Baro-thermo-hygromètre (BTHR918N)
- Adaptateur secteur 12V



**Figure 8. La station météo sans fil (modèle WMR928N)**

L'anémomètre, le thermo-hygromètre et le pluviomètre sont installés à l'extérieur à des endroits leur permettant de relever au mieux les éléments climatiques pour lesquels ils ont été conçus. Quant au baro-thermo-hygromètre, il est installé à l'intérieur. Toute sonde thermo ou thermo-hygro en option peut être installée à l'extérieur ou à l'intérieur.

### **I.2.2. Présentation du logiciel WRPLOT**

WRPLOT est un logiciel qui traite les données météorologiques horaires recueillies par la station météorologique, Il calcule les moyennes horaires des paramètres relevés selon le format choisi et la période définie par l'utilisateur, ces moyennes résultantes sont intégrées par WRPLOT pour générer les roses des vents et les précipitations correspondantes et qui représentent les fréquences des vents dans les seize secteurs de vent (secteur de 22,5°), et selon 6 classes de vitesse réparties entre 0,5 et 11 m/s et 6 classes de précipitation réparties entre 1 et 22 mm/h.

Il donne aussi, la vitesse moyenne du vent, les précipitations moyennes durant la période considérée et le volume horaire des vents calmes en pourcentage.

### **I.2.3. Traitement des données météorologiques**

Les paramètres météorologiques horaires recueillis par la station sont saisis dans le logiciel WRPLOT, Après traitement, WRPLOT nous a permis de générer les différentes roses des vents ainsi que les roses de précipitations de la période d'étude.

Les paramètres météorologiques qu'on a utilisés sont :

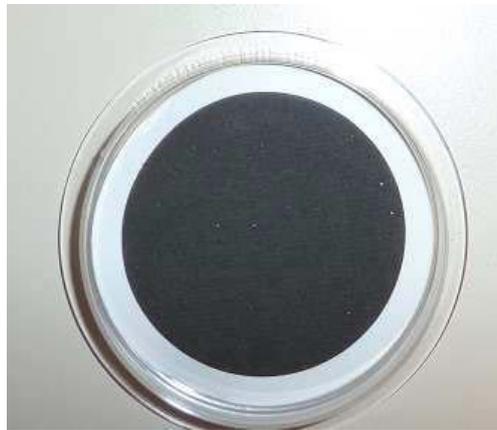
- Vitesse des vents (m/s)
- Direction des vents (degrés)
- Température (°C)
- Précipitation (mm)
- Pression atmosphérique (mbar)
- Humidité relative (%)
- Plafond des nuages

### **I.3. Minéralisation des poussières**

Les filtres en fibre de verre (figure 9) sont pesés, afin de déterminer la masse des dépôts puis subissent une minéralisation.



**(a)**



**(b)**

**Figure 9. Filtres en fibre de verre [(a) filtre blanc, (b) filtre avec poussières]**

La méthode d'extraction à été publier par Kuvarega et Taru (2008) et est détaillée comme suit :

- 1- Imprégnation des filtres dans des béchers contenant du  $\text{HNO}_3$  (20%) pendant 4 hr.
- 2- Rinçage avec de l'eau distillée du bécher et immersion dans un autre bécher de 100 ml.
- 3- Ajouter 3 ml de  $\text{HNO}_3$  et couvrir le bécher d'un verre de montre.
- 4- Chauffer à l'aide d'une plaque chauffante sous Sorbonne jusqu'à évaporation à  $95^\circ$ .
- 5- Laisser refroidir et ajouter 2 ml de  $\text{HNO}_3$  et chauffer de nouveau jusqu'à séchage partiel.
- 6- Ajouter 1 ml de HF (acide fluorhydrique) pour dissoudre toute les particules présentes sous chauffage modéré jusqu'à séchage partiel à  $95^\circ$ .
- 7- Laisser refroidir et ajouter 10 ml d'eau distillée.

- 8- Transférer avec l'eau de rinçage dans des béchers volumétriques de 50 ml ou 100 ml et ajuster au volume désiré (ex : 100 ml) avec une solution d'eau distillée contenant 1 % de HCL et 0.7 % de HNO<sub>3</sub> à 60 °C.
- 9- Filtrer pour éliminer les silicates et d'autres matières insolubles.
- 10- Mettre dans des flacons de 100ml dans le réfrigérateur à 4 °C.

Les solutions sont prêtes pour l'analyse au spectromètre d'absorption atomique pour les métaux lourds.

## I.4. Spectrométrie d'absorption atomique

### I.4.1.Principe

La spectrométrie par absorption permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques à l'état de traces (quelques mg/litre). L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental, et on utilise à cet effet en général des solutions.

La concentration de l'élément recherché est déterminée à partir de l'intensité mesurée et du tracé de la courbe d'étalonnage relative à cet élément (voir annexes) :

Intensité = f(C ppm).

Le spectromètre doit être préalablement étalonné: l'absorption est convertie par l'appareil en absorbance qui est proportionnelle à la concentration de l'élément à doser. On trace donc une droite d'étalonnage en fonction de la concentration connue de solutions étalonnées. On reporte ensuite sur cette droite l'absorbance obtenue pour la solution étudiée, ce qui permet d'en déterminer la concentration.

### I.4.2. Appareillage

L'application de la spectrométrie d'absorption atomique à l'analyse quantitative élémentaire nécessite :

- Un flux de photons de longueur d'onde comprise entre deux valeurs  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  et centrée sur une valeur  $\lambda_0$  fonction de l'élément à analyser (un générateur de photons ou source d'émission) ;
- Un dispositif qui convertit l'élément à l'état d'atomes (un générateur d'atomes ou source d'atomisation) ;
- Un dispositif optique sélecteur de radiation (monochromateur) ;

- Un ensemble électrique de mesure qui permet d'évaluer les grandeurs des flux absorbés (détecteur).



**Figure 10. Spectromètre d'absorption atomique de type Analyst  
600 (Perkin Elmer)**

## CHAPITRE II. Description du site de prélèvement

### II.1. Topographie du site

#### II.1.1. choix du site de prélèvement

Le site de mesure est un site urbain situé dans le quartier d'El Bosquet de Sidi Mabrouk à Constantine, L'appareil est installé au niveau de l'EPSP Mentouri Bachir (voir figure11) qui se trouve à proximité d'un axe routier important le reliant à plusieurs quartiers : El Mansourah au nord ouest, Sidi Mabrouk supérieur au nord et Ouad El Had, Ziadia, Djebel El Ouahch au nord est, afin d'estimer les niveaux d'exposition moyennes aux  $PM_{10}$  dans la zone géographique étudiée.

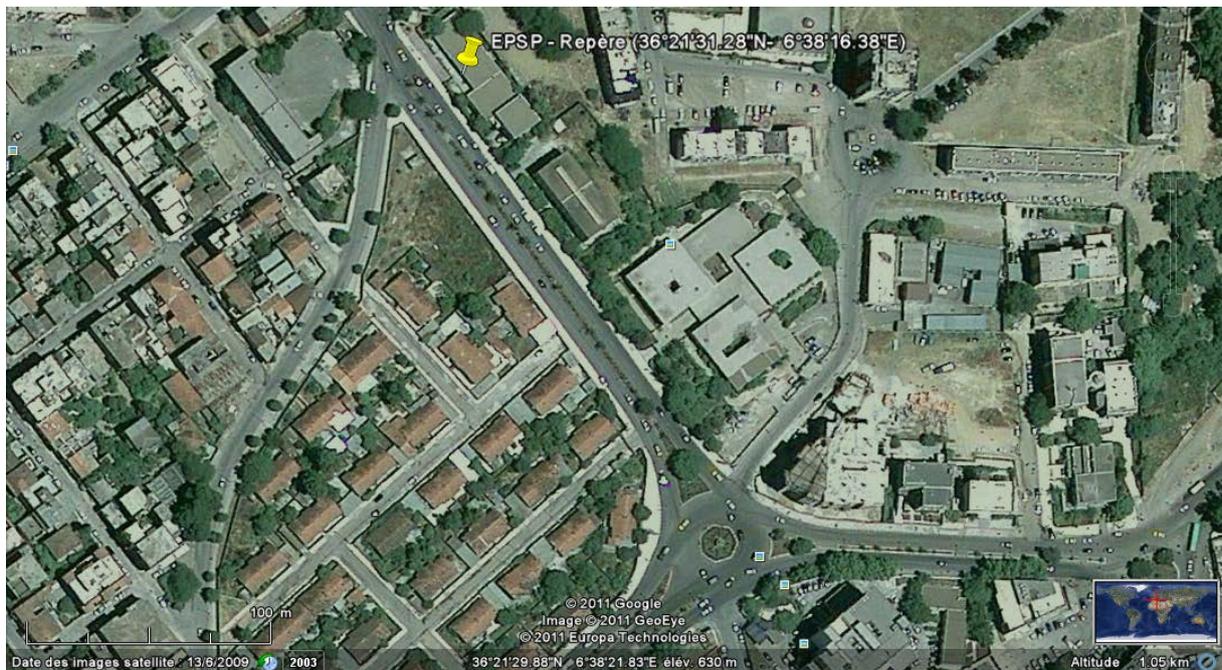


Figure 11. Localisation par satellite du site de prélèvement

#### II.1.2. Coordonnées topographiques du site de prélèvement

Les coordonnées topographiques des routes longeant la polyclinique Mentouri Bachir obtenus à l'aide d'un GPS sont résumés dans le tableau 5.

<b>Direction</b>	<b>Désignation du lieu</b>	<b>Longitude (X)</b>	<b>Latitude (Y)</b>
<b>SMK supérieur</b>	Rond point clinique du rein	288154	4026170
	Virage Polyclinique Mentouri	288033	4026343
	Mosquée	288036	4026510
<b>Rond point clinique du rein</b>	Intersection située un peu plus haut que le concessionnaire de véhicules neufs	287948	4026439
	Virage Polyclinique Mentouri	288029	4026322
	Route bifurquant à droite	288016	4026263
	Rond point clinique du rein	288016	4026263

**Tableau 5. Coordonnées topographiques des routes longeant la polyclinique Mentouri**

**PARTIE 3.**

**INTERPRETATION DES**

**RESULTATS**

## **CHAPITRE I. Corrélation avec les paramètres météorologiques**

### **I.1. Condition météorologiques du site**

La période d'échantillonnage qui s'est étalée du 25/05/2010 au 19/10/2010 a été caractérisée par :

- Une humidité relative moyennement élevée avec des valeurs comprises entre 15.12 % et 83.95 % (moyenne de l'ordre de 40.38 %).
- Une température saisonnière relativement élevée variant entre 10.14 °C et 33.72 °C avec une moyenne de 23.66 °C (voir tableau 14).
- Un manque de précipitations comme on peut le constater sur la figure 12 illustrant l'intensité des précipitations avec plus de 98 % de temps sec (pas d'effet de lessivage de l'atmosphère), en plus des vents faibles ayant sévi durant cette période avec des vitesses allant de 0.07 m/s à 1.46 m/s avec une moyenne de 0.43 m/s (pas de remise en suspension des particules déposées sur le sol). La distribution des fréquences des vents représentée par la figure 13 montre que 61.3 % des vents sont des vents calmes (<0.5 m/s) et que 37.6 % des vents ont une vitesse comprise entre 0.5 et 2.1 m/s. Ces conditions sont à l'origine de concentrations de PM10 relativement faibles.

Les vents dominants durant la période d'étude sont de nord-nord-ouest avec une fréquence moyenne de 7.8 % et de sud-sud-ouest avec une fréquence moyenne de 6.21 %. Ces données sont représentées dans la rose des vents correspondante illustrée par la figure 14.

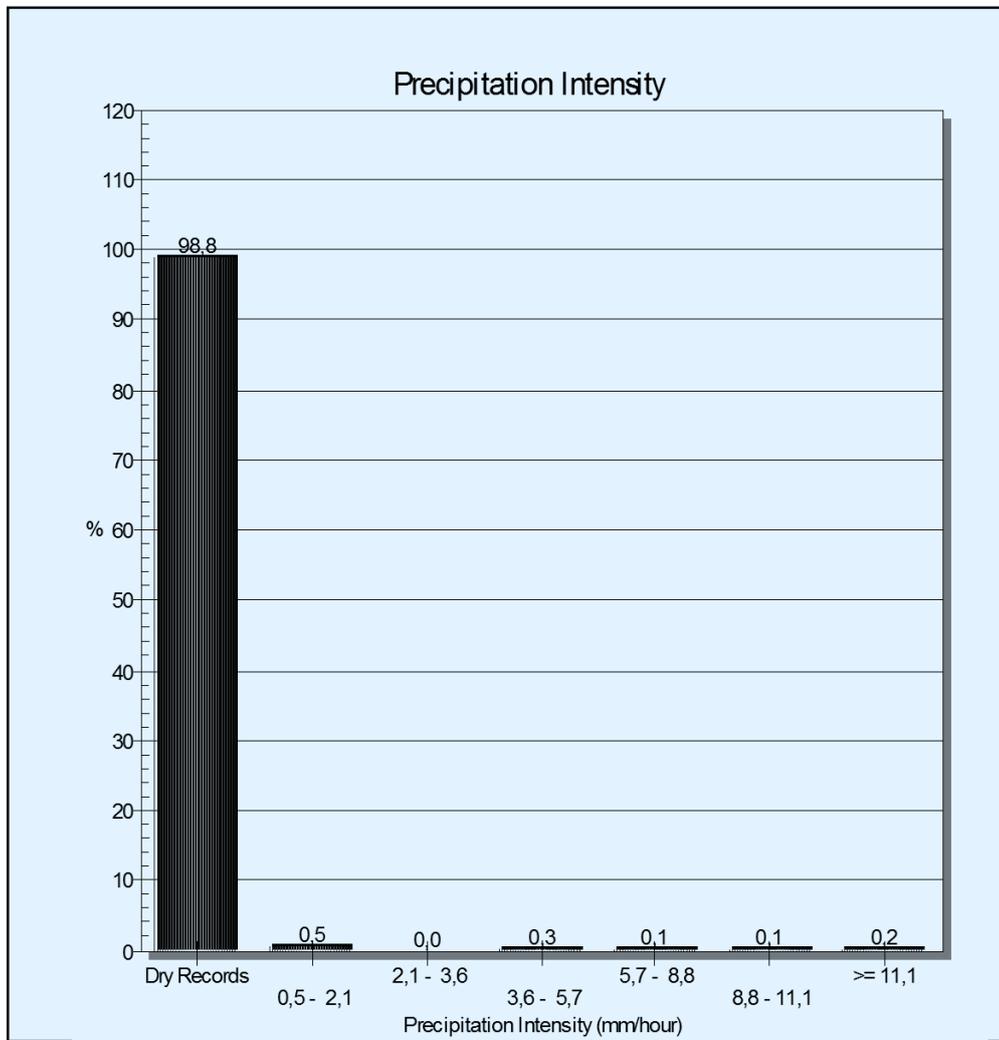


Figure 12. Intensité des précipitations du 25/05/2010 au 19/10/2010

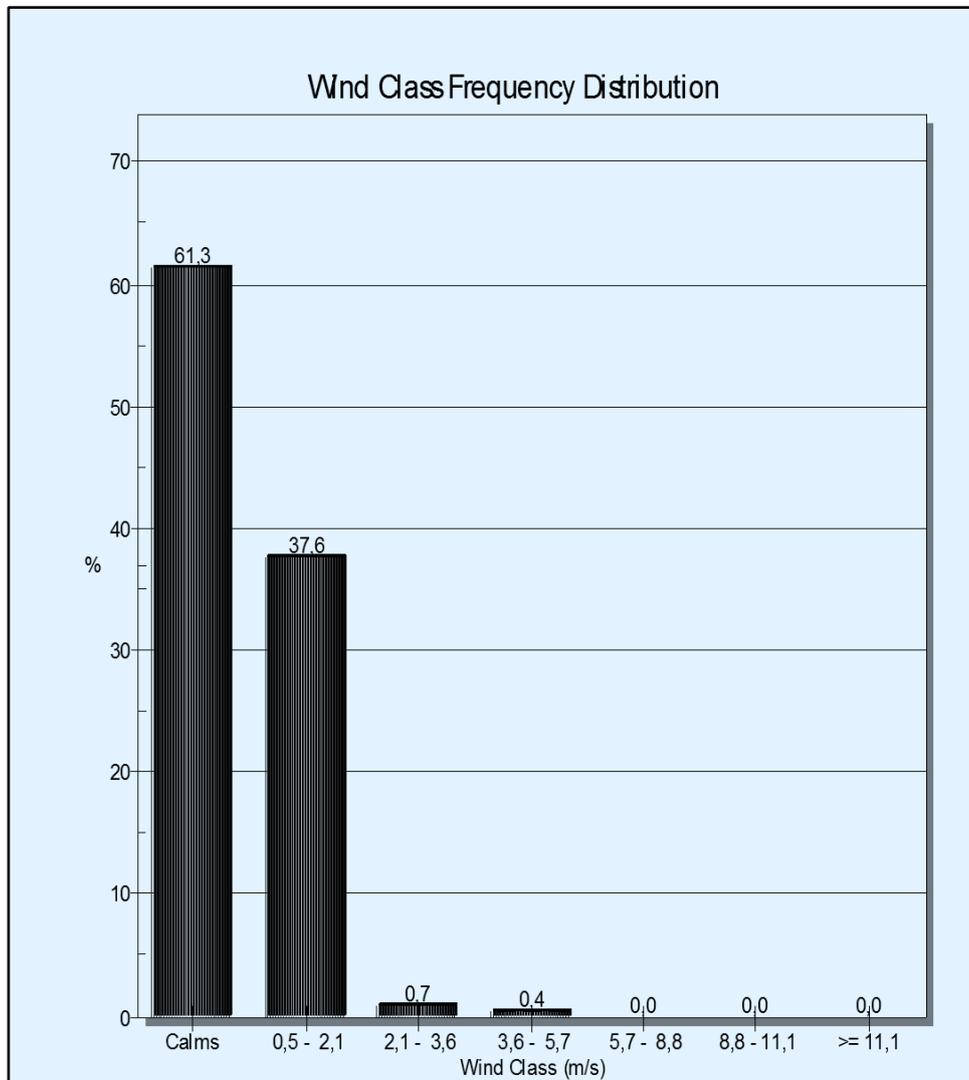
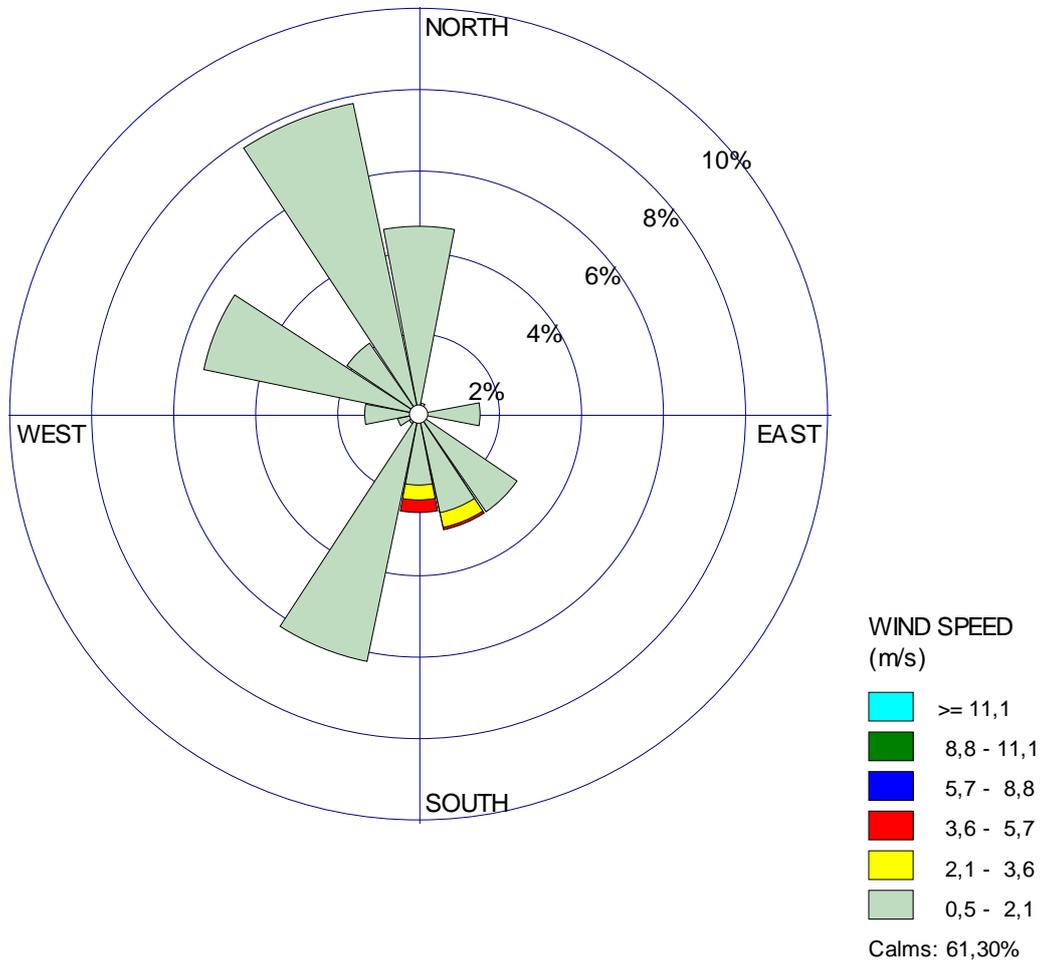


Figure 13. Distribution des fréquences des vents du 25/05/2010 au 19/10/2010



**Figure 14. Rose des vents de la période du 25/05/2010 au 19/10/2010 (Les vecteurs indiquent la direction de provenance du vent)**

## I.2. Contribution de la direction du vent aux concentrations des polluants

L'effet de la direction du vent sur les poussières a été l'objet d'une étude faite par Qin et Oduyemi en (2003). Cette étude a permis d'identifier la direction des sources principales responsables des concentrations de PM<sub>10</sub> à Dundee en comparant les contributions moyennes de chaque secteur de vent ( $M_i \times P_{ij}$ ) aux concentrations ( $\sum M_i$ ) avec les fréquences moyennes du vent. Si la contribution moyenne d'un secteur de vent donné est supérieure à la fréquence moyenne du vent dans ce secteur donc les sources se trouvant dans ce secteur exercent une forte influence dans cette direction. A l'inverse, ces sources exercent une faible influence dans

cette direction si la contribution moyenne du vent est inférieure à la fréquence moyenne du vent dans ce secteur.

Les contributions moyennes des secteurs de vent aux concentrations de polluants peuvent être calculées comme suit:

$$E_j = \frac{\sum M_i P_{ij}}{\sum M_i} \quad (1)$$

Où  $E_j$  (%) est la contribution moyenne du secteur de vent  $j$  (1 à 16)

$M_i$  est la concentration du polluant de l'échantillon  $i$  (1 à 71)

$P_{ij}$  (%) est la fréquence du secteur de vent  $j$  durant la période de prélèvement  $i$

Les contributions moyennes des secteurs du vent aux concentrations des  $PM_{10}$  et des métaux lourds calculées selon l'équation (1) sont reportées dans le tableau 6 ainsi que Les fréquences de vent moyennes par secteur du 25/05//2010 au 19/10//2010.

Secteur du vent	FMV	Contribution du vent					
		PM10	Cd	Pb	Fe	Zn	Cu
N	4,63	<b>5,20</b>	<b>5,92</b>	3,97	3,92	4,07	3,12
NNE	0,31	<b>0,33</b>	0,20	0,31	<b>0,33</b>	0,24	0,14
NE	0,12	<b>0,13</b>	0,00	0,12	<b>0,15</b>	0,11	0,11
ENE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E	1,52	1,49	0,55	1,19	1,16	0,89	0,08
ESE	0,12	0,10	0,00	0,08	<b>0,18</b>	<b>0,17</b>	<b>0,15</b>
SE	2,93	1,89	<b>10,05</b>	2,38	2,52	1,71	0,00
SSE	2,93	2,72	0,12	<b>3,81</b>	<b>3,01</b>	2,34	1,58
S	2,44	<b>2,84</b>	1,18	<b>2,51</b>	<b>2,64</b>	<b>2,47</b>	2,39
SSW	6,22	3,41	<b>9,42</b>	2,94	5,05	3,69	0,24
SW	0,31	0,28	0,07	0,20	0,24	0,28	0,23
WSW	0,55	0,42	0,35	0,52	0,46	0,44	0,12
W	1,34	<b>1,43</b>	<b>1,76</b>	1,23	1,23	1,30	<b>1,70</b>
WNW	5,36	3,02	1,96	3,24	3,36	3,53	3,89
NW	2,13	2,06	<b>3,85</b>	1,64	1,61	1,79	<b>2,93</b>
NNW	7,80	7,35	<b>9,85</b>	6,68	6,83	6,90	7,41
Calms	61,00	60,84	52,43	60,13	60,28	<b>61,58</b>	<b>66,57</b>

FMV : Fréquence moyenne du vent

**Tableau 6. Contributions moyennes des secteurs de vent aux concentrations des polluants**

On constate d'après le tableau 6 que les contributions moyennes venant des secteurs N (5.20 %) et S (2.84 %) sont légèrement supérieures à la fréquence moyenne du vent dans ces mêmes secteurs qui sont de 4.63 % et 2.44 % respectivement pour les PM<sub>10</sub>. Ces secteurs indiquent l'influence possible de la zone industrielle de Didouche Mourad au nord, tandis que le secteur sud reflète l'impact du trafic routier dense de la triple voie.

Les secteurs contribuant le plus à la présence du cadmium sont le SE (10.05 %) et le SSW (9.42 %). Ces contributions sont supérieures aux fréquences moyennes du vent correspondant aux mêmes secteurs et qui sont de 2.93 % et 6.22 % respectivement. Ces secteurs indiquent l'influence possible du trafic routier au niveau du rond point de Daksi au SE et de la triple voie au SSW de notre site de mesure.

Pour le plomb, ce sont les secteurs SSE et S qui contribuent le plus à la présence du plomb avec une valeur totale de 6.32 % et qui dépasse celle de la fréquence moyenne du vent dans ces secteurs qui est de 5.37 %. Ceci confirme l'influence du trafic routier au sud de l'EPSP Mentouri.

La présence du fer est influencée par le secteur S avec une contribution moyenne de 2.64 % qui est supérieure à la fréquence moyenne du vent dans ce secteur (2.44 %). L'influence du trafic empruntant la triple voie se confirme de nouveau dans ce cas.

Les secteurs contribuant à la présence du zinc sont ESE (0.17 %) et le S (2.47 %). En effet, ces contributions sont légèrement supérieures aux fréquences moyennes du vent qui sont de 0.12 % et 2.44 % respectivement dans les secteurs précités. Le zinc issu du sud peut être lié au trafic routier (usure des pneumatiques, des pièces mécaniques et des lubrifiants), tandis que celui issu du secteur ESE pourrait provenir de la zone industrielle de Boumerzoug.

Pour le cuivre, les deux secteurs contribuant à sa présence sont de W (1.70 %) et de NW (2.93 %) où les fréquences moyennes du vent sont de 1.34 % et 2.13 % respectivement.

Ceci reflète l'influence possible de l'incinérateur de l'hôpital situé au NW de la cité Daksi.

### **I.3. Résumé des corrélations**

Les corrélations entre les PM<sub>10</sub>, les métaux lourds et les paramètres météorologiques au niveau de l'EPSP Mentouri sont résumées dans le tableau 7.

Il existe une assez bonne corrélation entre les PM<sub>10</sub> et la température ( $r=0.53$ ). Un temps chaud a tendance à favoriser les turbulences verticales et à disperser les fines particules issues des gaz d'échappement en altitude. A l'inverse, un temps froid conduit plutôt à une stabilisation des basses couches de l'atmosphère et à piéger ces particules au niveau du sol. Aucune corrélation n'existe avec les autres données météorologiques.

En ce qui concerne le zinc, il présente une assez bonne corrélation avec la vitesse moyenne du vent ( $r=-0.47$ ) et curieusement avec le fer ( $r=0.45$ ) et le plomb ( $r=0.56$ ) car il provient généralement de l'usure des roches et des sols tandis que le zinc est produit de l'usure des pièces mécaniques, des pneumatiques et des lubrifiants, le plomb étant issu de la combustion de l'essence plombée.

Tableau 7. Coefficients de corrélation entre les paramètres météorologiques et les teneurs de polluants (PM<sub>10</sub> et métaux lourds)

	<b>u<sub>moy</sub></b> (m/s)	<b>Dir</b> (°)	<b>T<sub>moy</sub></b> (°K)	<b>P<sub>moy</sub></b> (mm Hg)	<b>HR</b> (%)	<b>Préc</b> (mm)	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Pb</b>	<b>Cd</b>
<b>PM<sub>10</sub></b>	-0.15	-0.08	<b>0.53</b>	-0.19	-0.29	-0.16	-	-0.1	0.13	0.29	0.02	0.18
<b>Cu</b>	0.06	-0.06	-0.045	0.13	-0.1	-0.08	-	-	-0.25	-0.06	-0.19	0.08
<b>Zn</b>	<b>-0.47</b>	0.19	-0.15	-0.54	0.56	0.09	-	-		<b>0.45</b>	<b>0.51</b>	-0.16
<b>Fe</b>	-0.2	-0.21	-0.13	<b>-0.48</b>	0.16	0.07	-	-	-	-	0.31	-0.06
<b>Pb</b>	-0.24	0.5	-0.24	<b>-0.45</b>	0.38	0.14	-	-	-	-	-	-0.22
<b>Cd</b>	0.054	-0.02	0.13	-0.016	-0.1	-0.11	-	-	-	-	-	-

## CHAPITRE II. Evolution des concentrations de PM<sub>10</sub> et des métaux lourds

### II.1. Evolution temporelle des concentrations de PM<sub>10</sub>

Les prélèvements ont été effectués sur 71 échantillons pour une période allant du 25/05/2010 au 19/10/2010. Durant cette campagne de mesure, la concentration moyenne enregistrée est de 44.57  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cette concentration dépasse la moyenne annuelle recommandée par l’OMS pour les PM<sub>10</sub> qui est de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mais elle est conforme à la norme algérienne fixée par le décret exécutif n° 06-02 du 07 janvier 2006 qui est de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  comme objectif de qualité de l’air et à la valeur limite fixée à 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  par le même décret (voir annexe 1).

A titre de comparaison, une étude a été faite à Alger au niveau d’un poste de prélèvement implanté à l’école nationale polytechnique (ENP) situé au sud-est à environ 10 km du centre d’Alger et à 8 m du bord de la RN5. Ce poste représente un axe routier très important fréquenté par plus de 25000 véhicules/jour. L’étude a montré que la pollution par les particules fines est significative au niveau de ce site de type trafic avec une concentration moyenne de 80.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [Kerbach *et al.* 2009]. Il faut souligner que la concentration moyenne des PM<sub>10</sub> au niveau de la polyclinique Mentouri est acceptable en la comparant avec celle d’Alger vu que le flux quotidien n’est pas très différent de celui caractérisant le tronçon de la RN5 qui est de l’ordre de 1400 véhicules/heure.

Une comparaison avec les résultats de mesures faites dans des villes de pays développés et en voie de développement dans des stations de type trafic (tableau 8) montre également que les teneurs moyennes en PM<sub>10</sub> mesurées au niveau de la polyclinique Mentouri sont en effet supérieures à celles observées dans des villes européennes telles que Londres (21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Paris (11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et Madrid (30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mais largement inférieures à celles de certaines villes des pays émergents connues pour leur forte pollution comme Beijing (89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Delhi (150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et le Caire (60 à 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) [AIRPARIF, 2008].

Pays	Ville	Concentration des PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Argentine	Cordoba	58
Australie	Sydney	20
Brésil	Sao Paulo	40
Canada	Toronto	22
Chili	Santiago	61
Chine	Beijing	89
	Shanghai	101
Colombie	Bogota	31
France	Paris	11
Allemagne	Berlin	22
Ghana	Accra	33
Inde	Delhi	150
Japon	Tokyo	40
Mexique	Mexico	51
Nouvelle Zélande	Auckland	14
Russie	Moscou	21
Afrique du sud	Johannesburg	33
Espagne	Madrid	30
Thaïlande	Bangkok	79
Ukraine	Kiev	35
Angleterre	London	21
Etats unies	Los Angeles	34
	New York	21
Venezuela	Caracas	10

**Tableau 8. Concentrations annuelles moyennes de PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) mesurées dans différentes régions du monde durant l'année 2004 (Pandey *et al.*, 2006)**

Le tableau 9 ci-dessous résume quelques gammes typiques de concentrations moyennes de PM<sub>10</sub> rencontrées dans différentes régions du monde [AIRPARIF, 2008].

Asie	35-220
Amérique Latine	30-129
Afrique	40-150
Australie/Nouvelle Zélande	28-127
Europe	20-70
Etats-Unis	20-60

**Tableau 9. Gamme des Concentrations moyennes annuelles de PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) mesurées dans différentes régions du monde**

Les niveaux les plus élevés sont observés en Asie, en Afrique et en Amérique latine. Ces trois continents présentent des niveaux de particules très hétérogènes entre les villes bien développées où les concentrations annuelles moyennes sont assez faibles (30-40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), et les villes les moins développées comme le Caire où on relève des niveaux urbains compris entre 60 et 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . L'Europe présente des niveaux de PM<sub>10</sub> globalement similaires à ceux des Etats-Unis.

L'évolution journalière des teneurs en particules PM<sub>10</sub> est illustrée dans la figure 15. Cette dernière présente un pic de 128.86  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  lors du prélèvement n°47 enregistré le 01-02/09/2010 et un minimum de 14.64  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  obtenu lors du prélèvement n° 51 du 09-10/09/2010.

Un examen de la figure 15 permet de constater que les teneurs en PM<sub>10</sub> sont les plus élevées lors des prélèvements n°23, 56, 65, 66 correspondant aux journées du 14-15/07, 19-20/09, 07-08/10 et 09-10/10 avec des concentrations moyennes de 89.22, 81.17, 122.76 et 103.56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivement. Ceci est à mettre au compte de la vitesse de vent faible comprise entre 0.14 et 0.67 m/s et à l'absence des précipitations enregistrées ces jours ci (tableau 14). Elles coïncident aussi avec des vents du sud, sud ouest et sud est. En effet, les vents du sud et du sud ouest ou du sud est sont susceptibles d'entraîner facilement des vents de sable vers le poste de mesure comme le confirment les rétro trajectoires illustrées par les figures 16, 17, 18, 19 correspondant aux prélèvements suscités.

Les faibles concentrations ont été observées lors des prélèvements n° 13, 14, 51 et 70 correspondant aux journées du 20-21/06, 22-23/06, 09-10/09 et 17-18/10 avec des teneurs de 14.86, 14.82, 14.65 (valeur minimale) et 18.47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivement.

Ces faibles teneurs peuvent s'expliquer par l'effet de lessivage de l'atmosphère par les précipitations enregistrées le 14-15/06/2010 qui ont conduit à une baisse des concentrations de PM<sub>10</sub> lors des cinq prélèvements qui ont suivi cet événement (du 16 au 25/6/2010) et par celles enregistrées en date du 17-18/10/2010 qui ont influé vers la baisse le niveau en PM<sub>10</sub> observé à cette date (prélèvement n° 70) (tableau 14).

Le reste des teneurs enregistrées varie entre 22.17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et 75.72  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  représentant 87% du total des prélèvements effectués avec une moyenne de 41.56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

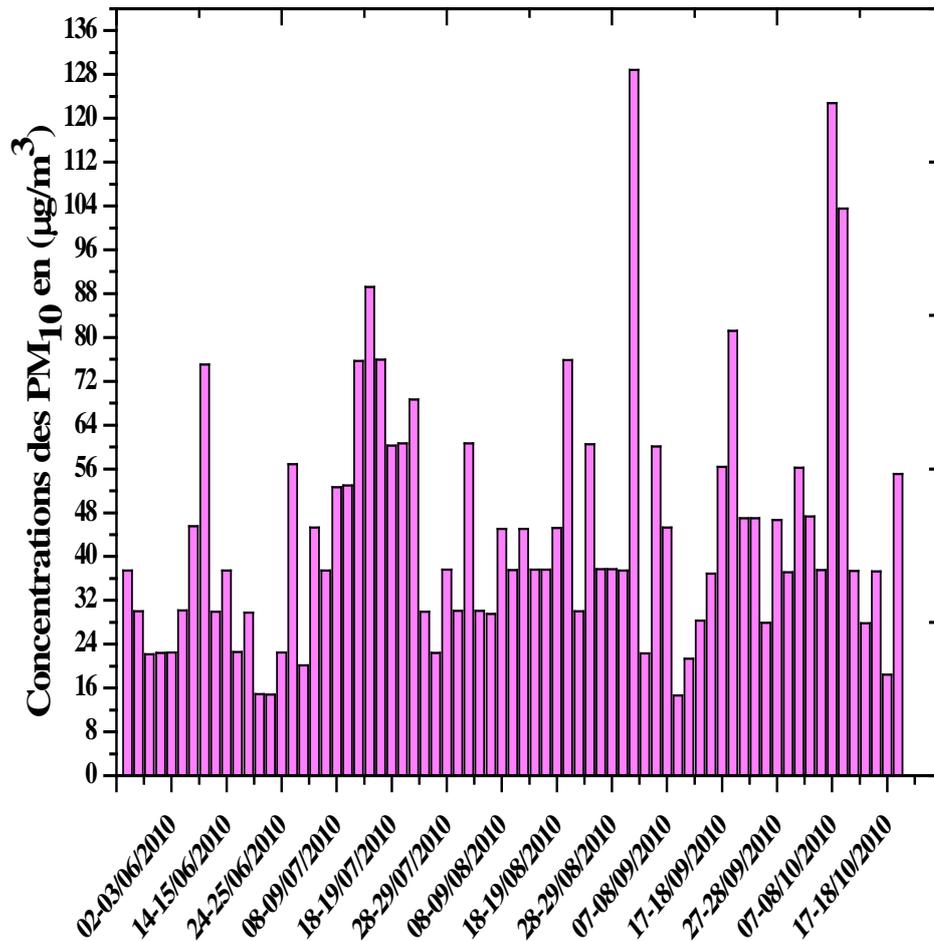


Figure 15. Evolution des concentrations des  $PM_{10}$  du 25/05/2010 au 19/10/2010

La rétrotrajectoire du 01/09/2010 illustrée dans la figure 20 et qui correspond au prélèvement n°47 avec une concentration maximale de  $128.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$  montre que les vents proviennent du sud est (vent de sable), ce qui explique bien la valeur enregistrée.

Produced at the BADC /requests/aterrouche/traj\_service/exp052/tt2010071400.nc

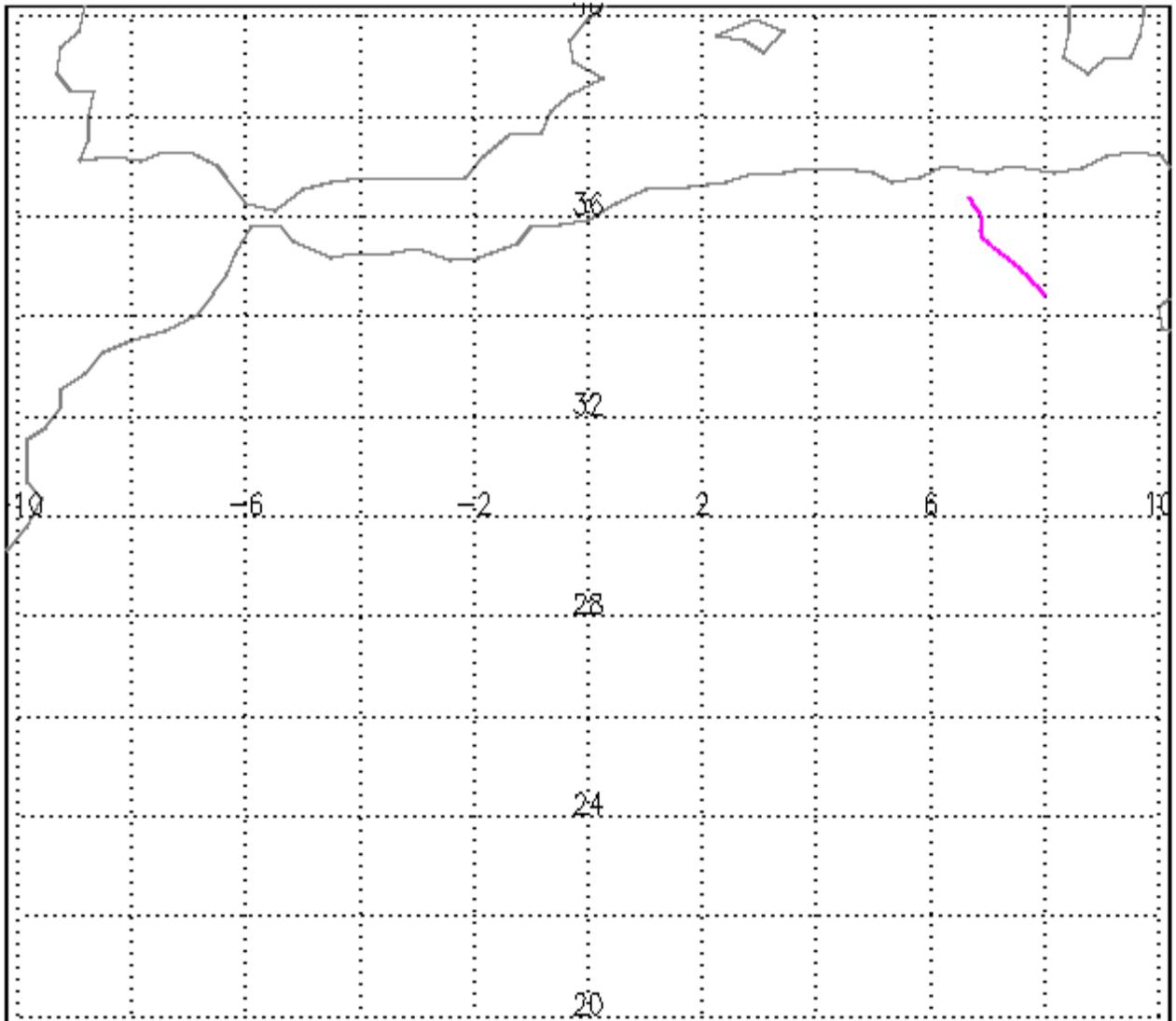


Figure 16. Rétro trajectoire du 14/07/2010 (3 jours avant)

Produced at the BADC /requests/aterrouche/traj\_service/exp046/tt2010091900.nc

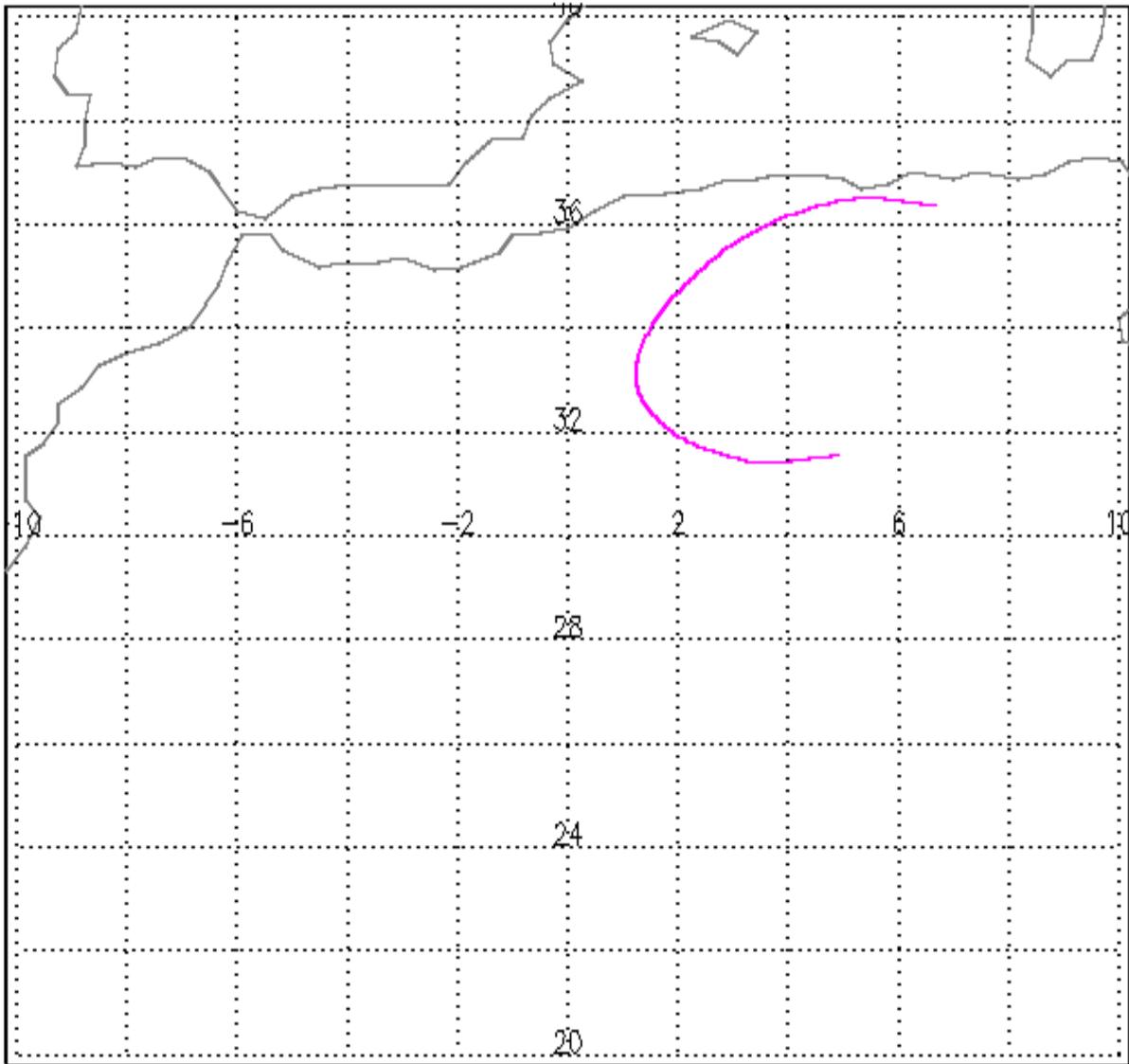


Figure 17. Rétro trajectoire du 19/09/2010 (temps de remontée de 3 jours)

Produced at the BADC /requests/aterrouche/traj\_service/exp047/tt2010100700.nc

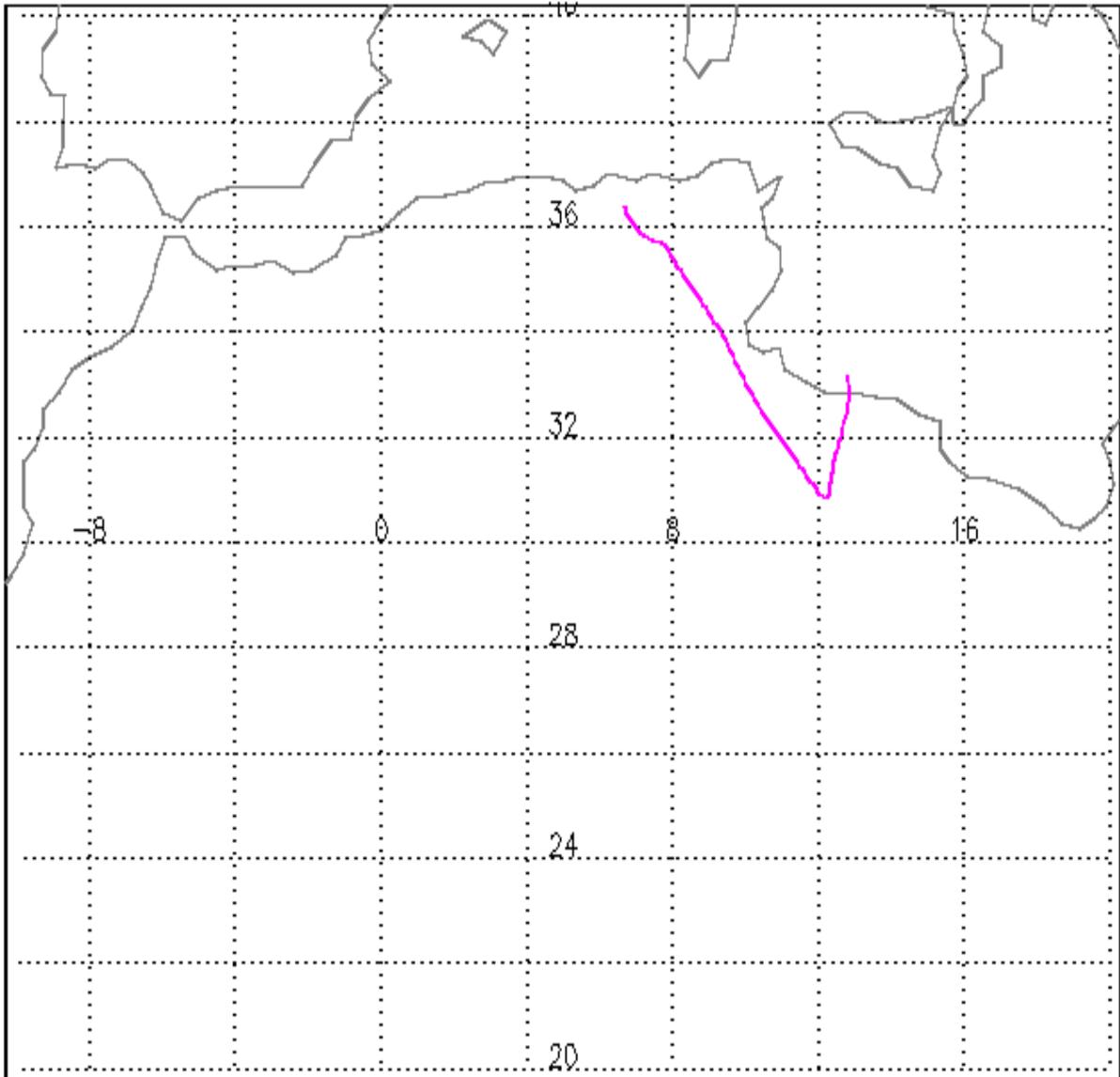


Figure 18. Rétro trajectoire du 07/10/2010 (temps de remontée de 3 jours)

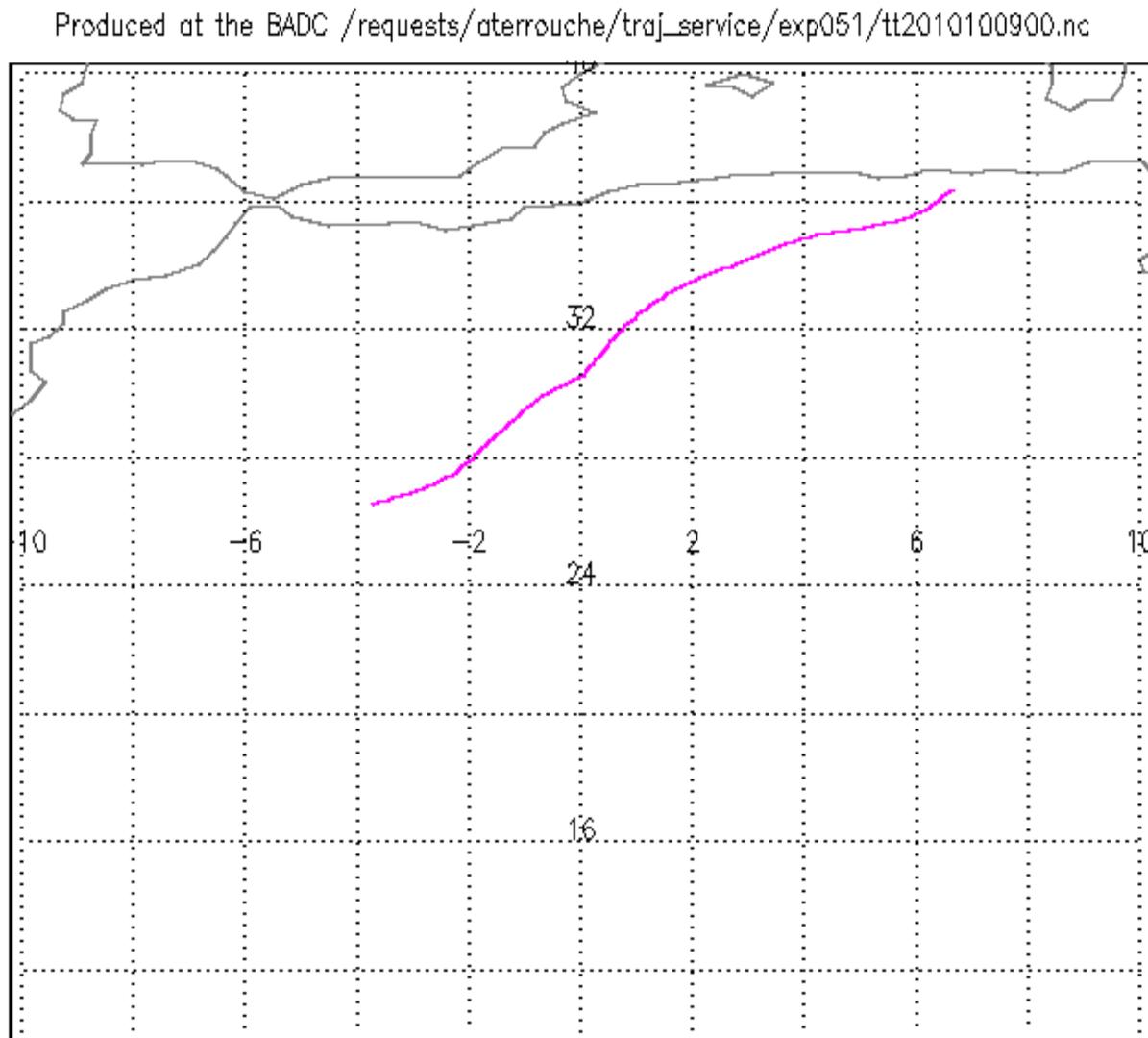
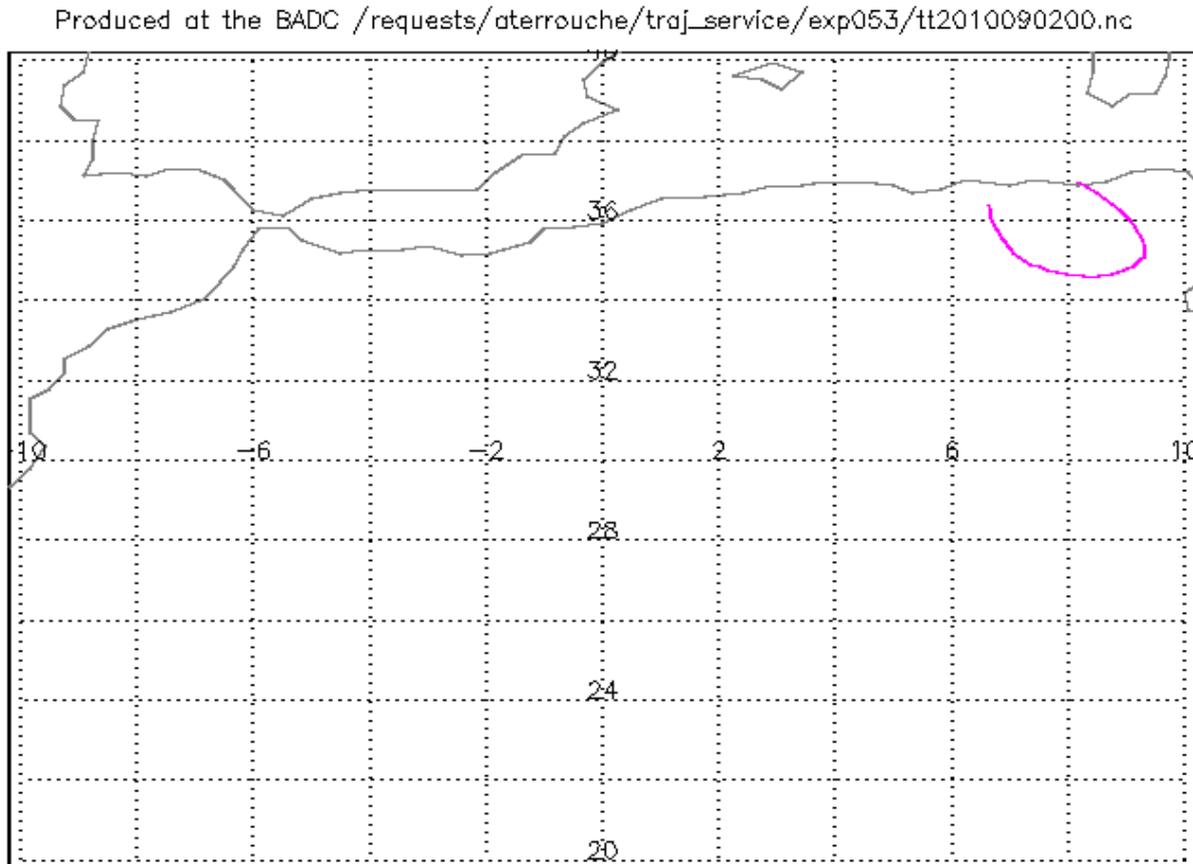


Figure 19. Rétro trajectoire du 09/10/2010 (temps de remontée de 3 jours)



**Figure 20. Rétro trajectoire du 01/09/2010 (temps de remontée de 3 jours)**

## II.2. Evolution temporelle des concentrations de métaux lourds

La variation temporelle des éléments métalliques Cu, Fe, Zn, Pb et Cd est illustrée dans les figures 21, 24, 25, 26 et 27. Le tableau 10 reprend les paramètres météorologiques quotidiens moyens et les concentrations des éléments métalliques analysés dans ce travail.

### II.2.1. Le cuivre

Les concentrations de cuivre sont illustrées dans la figure 21 qui indique des pics compris entre 0.02 et 64.76  $ng/m^3$  avec une valeur moyenne de 2.92  $ng/m^3$ . Ces concentrations restent nettement inférieures à celles enregistrées au niveau de la Direction de la Santé située à l'avenue Belouizded à Constantine dans le cadre d'une étude de la pollution particulaire réalisée par Seraghni (2007), vu que la densité du trafic au niveau de cette avenue est plus importante que celle de l'EPSP Mentouri.

Les teneurs de cuivre sont aussi inférieures à celles mesurées dans une ville de Chili (Chillan) en 2003, mais elles sont comparables à celles mesurées au niveau de l'APC de Didouche Mourad (Boumegoura & Habbas, 2003) (Voir tableau 10).

La valeur maximale du cuivre a été enregistrée lors du prélèvement n° 20 (08-09/07/2010). Cette valeur peut être expliquée par l'absence de précipitations et surtout à la présence de feux de biomasse comme illustré dans la figure 22. Un feu a sévi dans la région de Constantine entre le 8/7/2010 à 18 h et le 9/7/2010 à 06 h. La même remarque peut être faite concernant la valeur de la concentration cuivre de  $52.97 \text{ ng/m}^3$  observée le 24-25/6/2010. Un feu de biomasse en serait responsable car il avait eu lieu entre le 24/6/2010 à 12 h et le 25/6/2010 à 06h (figure 23). L'événement du 20-21/6/2010 lors duquel une concentration de cuivre de  $52.58 \text{ ng/m}^3$  a été enregistrée n'est dû ni à un vent de sable ni à un feu de forêt. Il pourrait être vraisemblablement lié à une source anthropique tel que l'incinérateur de l'hôpital situé à 2 km au nord ouest du site de mesure des  $PM_{10}$ .

Site	Cu ( $\text{ng/m}^3$ )	Référence
Direction de la Santé (avenue Belouizded) Constantine	$Cu_{\text{moy}} = 49.40 \text{ ng/m}^3$ $2.66 < Cu < 314.48 \text{ ng/m}^3$	Seraghni (2007)
Ville de Chillan Chili	$Cu_{\text{moy}} = 180 \text{ ng/m}^3$ $Cu_{\text{max}} = 310 \text{ ng/m}^3$	Celis <i>et al.</i> , (2003)
L'APC de Didouche Mourad Constantine	$Cu_{\text{moy}} = 24 \text{ ng/m}^3$ $5 < Cu < 65 \text{ ng/m}^3$	Boumegoura & Habbas (2003)

**Tableau 10. Concentrations moyennes de cuivre dans différents sites**

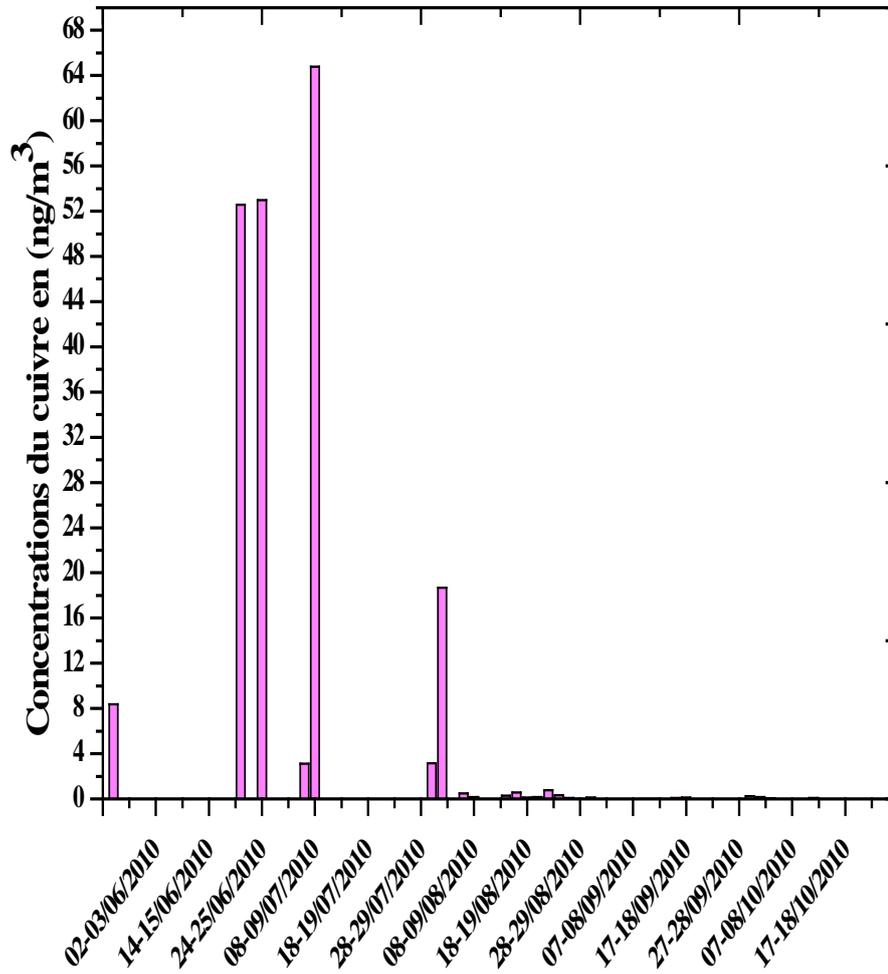
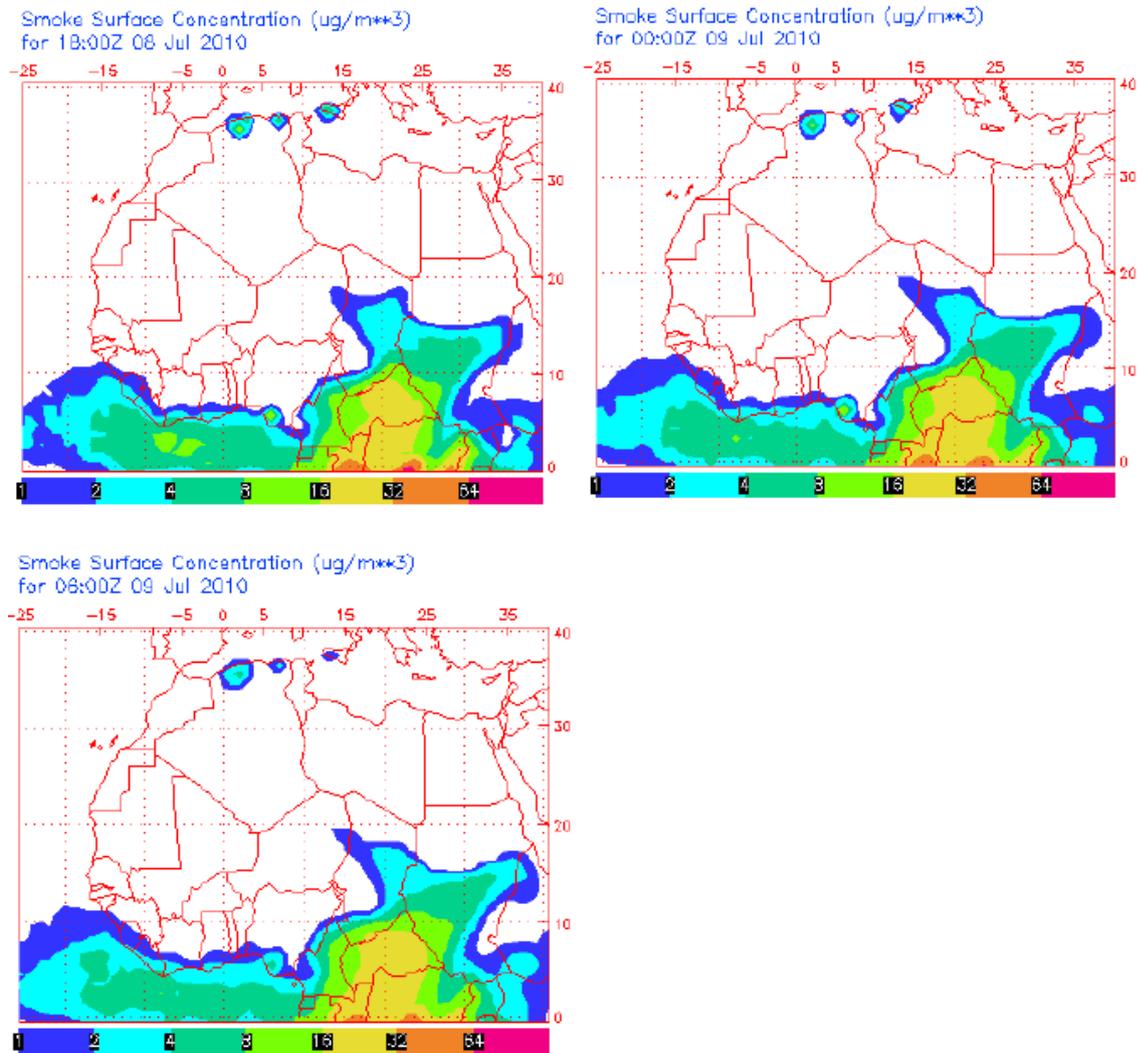
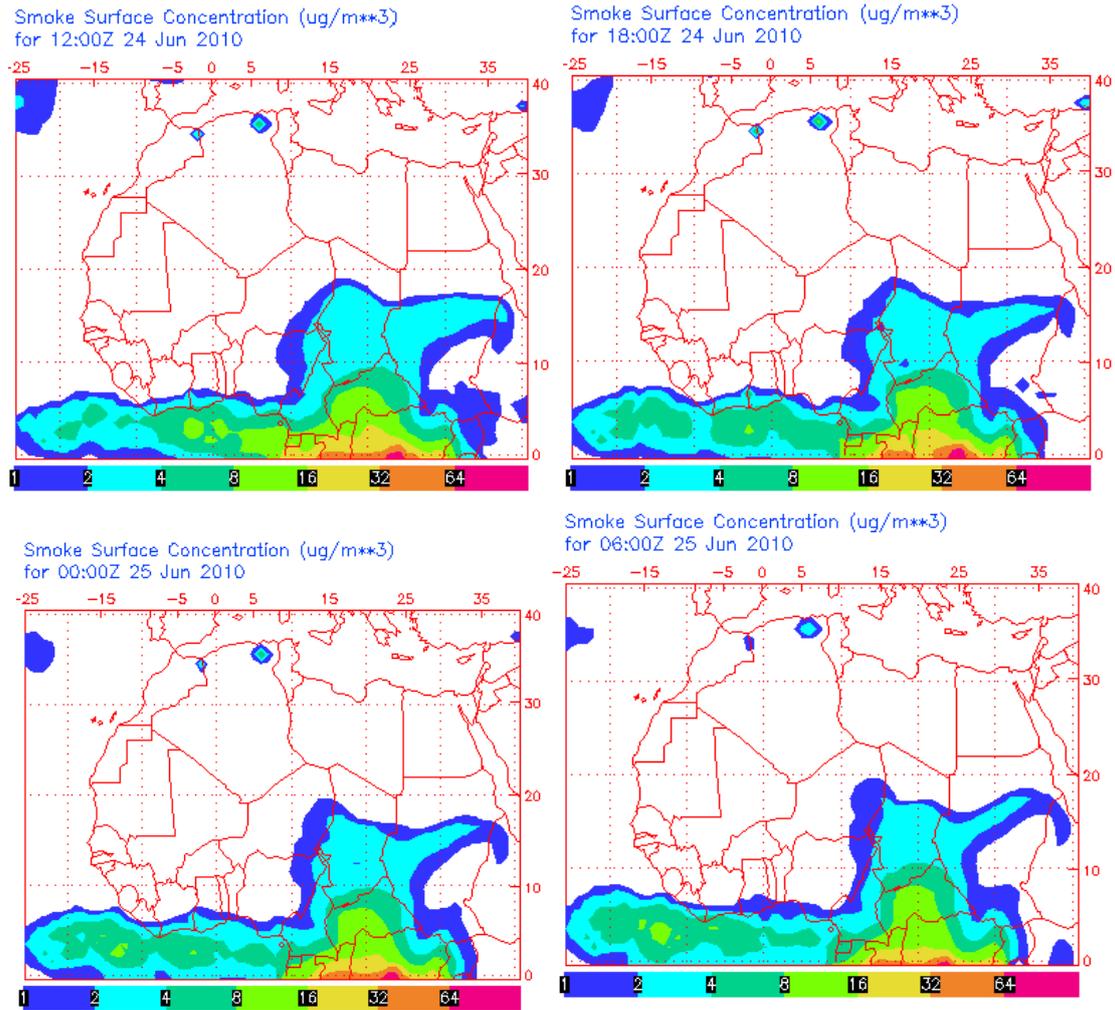


Figure 21. Evolution des concentrations de cuivre du 25/05/2010 au 19/10/2010



**Figure 22.** Présence de fumées de feu de biomasse apparente dans la région de Constantine en date du 8/7/2010 à 18 h et du 9/7/2010 à 00h et 06 h (NAAPS : Navy Aerosol Analysis and Prediction system)



**Figure 23. Présence de fumées de feu de biomasse apparente dans la région de Constantine entre le 24/6/2010 à 12 h et le 25/6/2010 à 06h (NAAPS : Navy Aerosol Analysis and Prediction system)**

### II.2.2. Le fer

La variation des concentrations de fer est représentée sur la figure 24, avec des valeurs comprises entre 1.69 et 16.68  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ces concentrations sont proches de celles enregistrées en Egypte, dans quelques quartiers pollués du Caire (Abu-Allaban *et al.*, 2007) et plus de 3 fois supérieures aux valeurs mesurées à Escuelas Aguirre à Madrid (Begoña *et al.*, 2003) (voir tableau 11).

Il faut noter que le fer est parmi les éléments de l'écorce terrestre le plus abondant au niveau de l'EPSP Mentouri avec une teneur moyenne de 9.67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il provient essentiellement de sources naturelles (usure des roches et du sol) (Deltraz & Paul, 1998), car les sols nus et le manque de végétation contribuent fortement à ces taux élevés.

Site	Période d'étude	Concentrations de Fe en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(El-Zamalek, El-Maa'sara, El-Qualaly, Helwen, Shobra). quartiers du Caire (Egypte)	Hiver 1999	1.2<Fe<6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Automne 1999	3.6<Fe<8.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(Escuelas Aguirre) site urbain Madrid (Espagne)	Juin 1999-mai 2000	0.45<Fe<4.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Fe <sub>moy</sub> = 1.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Tableau 11. Concentrations de fer dans différents sites urbain**

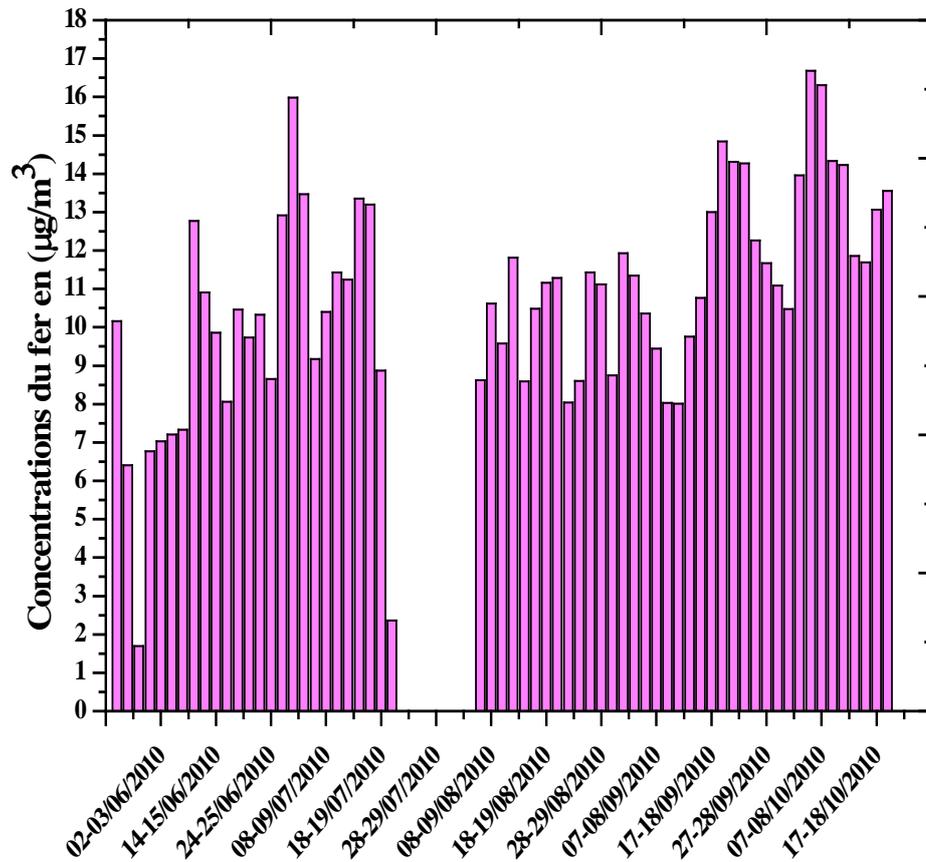


Figure 24. Evolution des concentrations de fer du 25/05/2010 au 19/10/2010

### II.2.3. Le zinc

La teneur moyenne de zinc est de  $313.85 \text{ ng/m}^3$ . La figure 25 montre que les valeurs des concentrations de zinc sont comprises entre  $163.86$  et  $592.54 \text{ ng/m}^3$ .

A titre de comparaison, ces teneurs sont plus élevées que celles enregistrées au niveau d'un site à Madrid qui étaient comprises entre  $32$  et  $94 \text{ ng/m}^3$  avec une valeur moyenne de  $93 \text{ ng/m}^3$ . La valeur maximale de zinc ( $592.54 \text{ ng/m}^3$ ) a été enregistrée le 05-06/08/2010 lors du prélèvement n°34 où la vitesse moyenne du vent était la plus faible durant toute la période d'étude ( $0.07 \text{ m/s}$ ).

Le zinc est un métal produit par l'usure des pièces mécaniques, des pneumatiques et des lubrifiants (Deltraz et Paul). Les autres sources anthropogéniques dans la région de Constantine sont l'activité métallurgique dans la zone industrielle de Didouche Mourad située au nord du site de l'étude, l'incinération des déchets hospitaliers pratiquée au nord ouest de ce

dernier, le brûlage des déchets ménagers à l'air libre dans la décharge sauvage située au sud ouest ainsi que les engrais et pesticides à base de zinc.

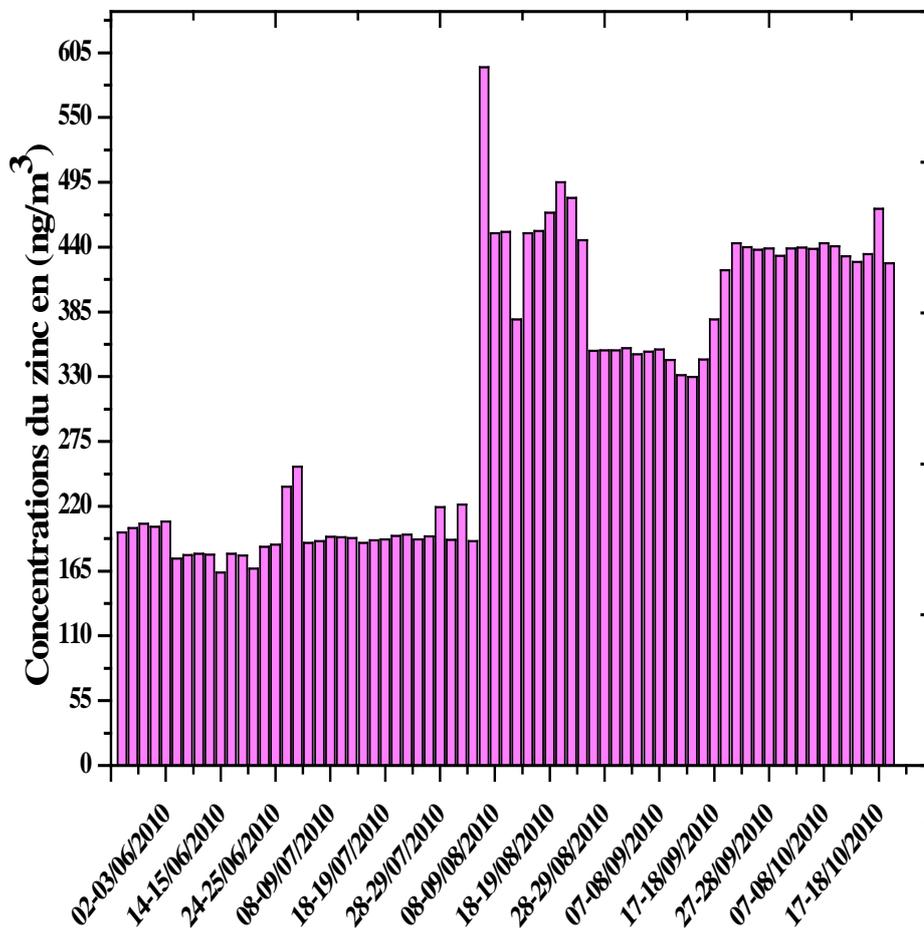


Figure 25. Evolution des concentrations de zinc du 25/05/2010 au 19/10/2010

#### II.2.4. Le plomb

La teneur moyenne du plomb durant la campagne de mesure était de  $0.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Elle est relativement élevée par rapport à celle mesurée au niveau de l'APC de Didouche Mourad du 15/11/2002 au 16/01/2003 qui était de  $91 \text{ ng}/\text{m}^3$  et celle enregistrée dans un site de proximité à Alger d'une valeur de  $300 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

Les concentrations de plomb illustrées dans la figure 26 varient entre  $0.046$  et  $1.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sont plus élevées que celles mesurées dans d'autres sites (voir tableau 12).

Métaux lourds	site	Concentrations en $ng/m^3$			Référence
		Min	Moy	Max	
Pb	l'APC de Didouche Mourad	1	46	187	*
	(Escuelas Aguirre) site urbain Madrid	44	118	388	**
Cd	l'APC de Didouche Mourad	0	1	18	*
Cu	l'APC de Didouche Mourad	5	24	65	*
	(Escuelas Aguirre) site urbain Madrid	24	112	301	**

\*Boumegoura N. et al (2003), \*\*Begoña A. et al (2003)

**Tableau 12. Concentrations de quelques métaux lourds dans différents sites**

L'allure de la figure 26 est opposée à celle des  $PM_{10}$ , vu que la valeur maximale de plomb ( $1.92 \mu g/m^3$ ) à été enregistrée lors du prélèvement n° 70 (9 mm de pluie). En effet, en présence de pluie la diminution de la teneur des  $PM_{10}$  est accompagnée d'une hausse de la teneur en plomb (tableau 14).

Les teneurs de plomb mesurées sont extrêmement élevées et dépassent de loin la nouvelle norme européenne qui est de  $0.25 \mu g/m^3$  (tableau 13).

Ce taux élevé de plomb s'explique par le fait que l'essence plombée est jusqu'à maintenant utilisée dans notre pays et que le plomb représente un des indicateurs majeurs de la pollution issue du trafic routier.

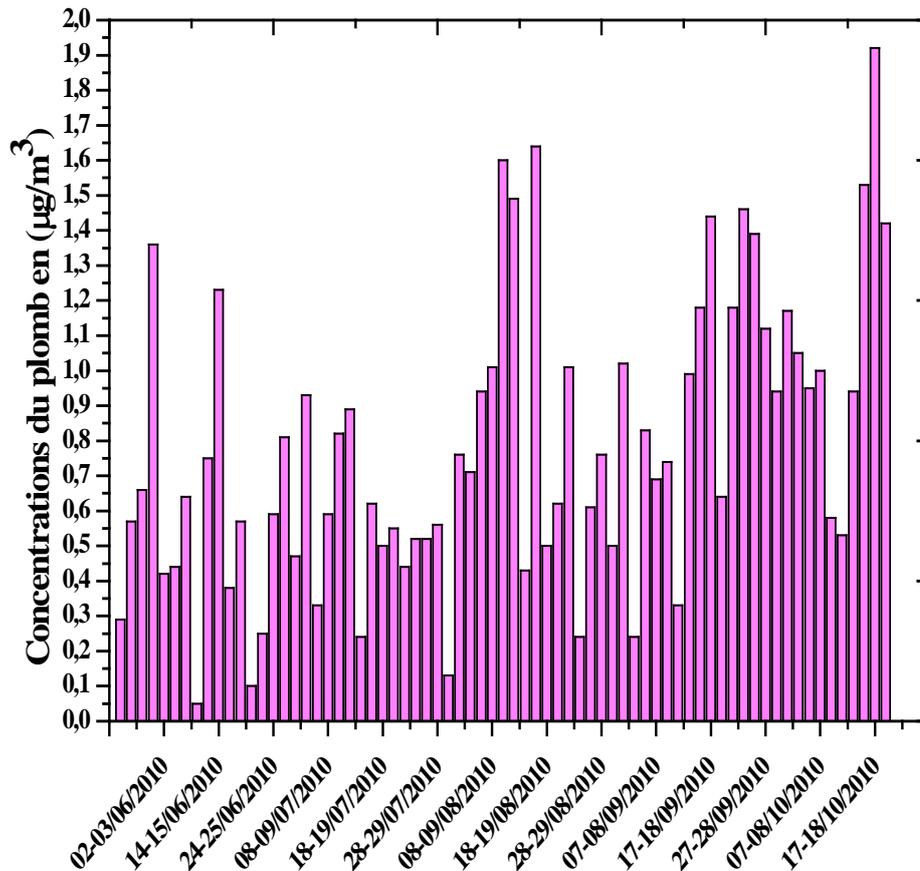


Figure 26. Evolution des concentrations de plomb du 25/05/2010 au 19/10/2010

### II.2.5. Le cadmium

L'évolution des concentrations de cadmium illustrées dans la figure 27 montre que 66.19 % des teneurs sont nulles, le reste des teneurs enregistrées varient entre 3.67 et 397.72  $ng/m^3$ . La valeur maximale de 397.72  $ng/m^3$  a été enregistrée lors du prélèvement n° 56 (19-20/09/2010).

La teneur moyenne de cadmium estimée à 20  $ng/m^3$  est largement supérieure à la norme européenne qui est de 5  $ng/m^3$  (voir tableau 13), ainsi que celle enregistrée au niveau de l'APC de Didouche Mourad (voir tableau 12).

La principale source de cadmium est le trafic routier, puisqu'il est, comme le zinc, produit par l'usure des pièces mécaniques et des pneumatiques. Cet élément est également

libéré lors de l'incinération de déchets contenant des plastiques contenant des pigments de cadmium et des batteries à base de nickel-cadmium.

	Valeur réglementaire	Type de valeur réglementaire
<b>Pb</b>	0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valeur limite pour la protection de la santé
	0.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Objectif de qualité
<b>Cd</b>	5 $\text{ng}/\text{m}^3$	Valeur cible

Tableau 13. Normes européennes pour les métaux lourds

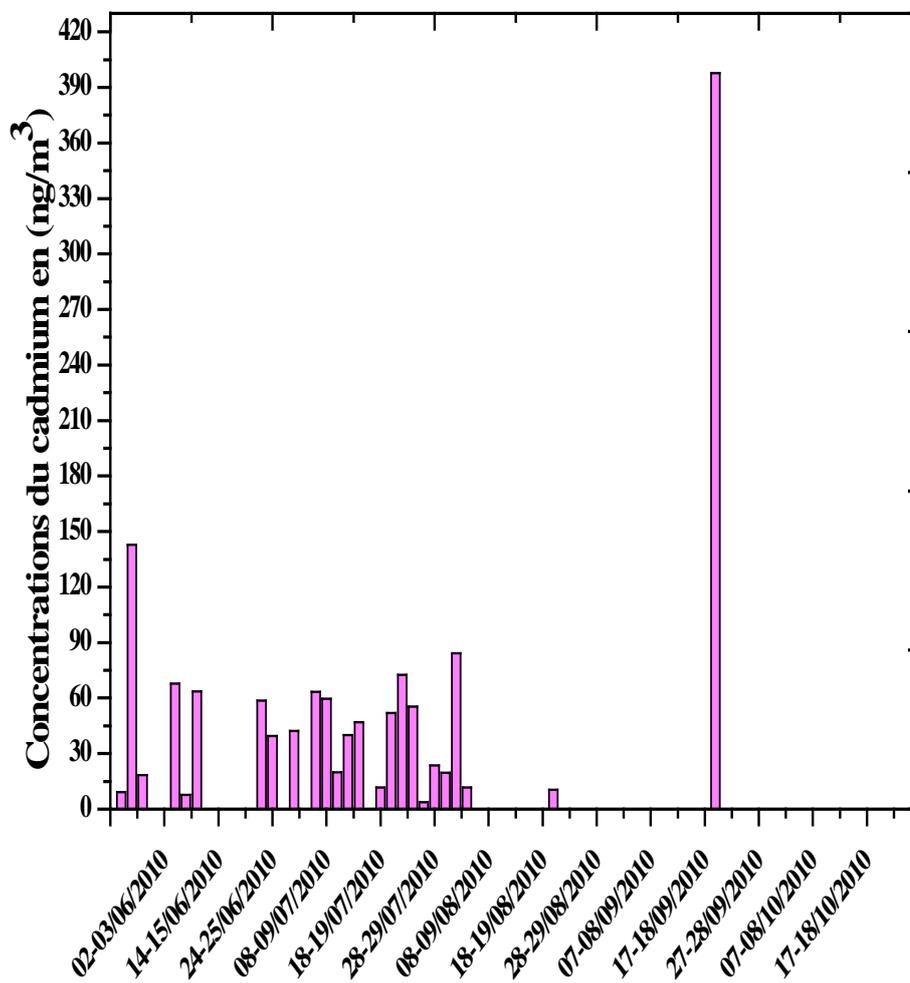


Figure 27. Evolution des concentrations de cadmium du 25/05/2010 au 19/10/2010

**Tableau 14. Paramètres météorologiques et concentrations des PM<sub>10</sub> et métaux lourds durant la période d'étude (du 25/05/2010 au 19/10/2010)**

N° du filtre	Date	u <sub>moy</sub> (m/s)	dir (°)	T <sub>moy</sub> (K)	P <sub>moy</sub> (mmHg)	HR(%)	Précip (mm)	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	Cu (ng/m <sup>3</sup> )	Zn (ng/m <sup>3</sup> )	Fe (µg/m <sup>3</sup> )	Pb (µg/m <sup>3</sup> )	Cd (ng/m <sup>3</sup> )
1	25-26/05/2010	0,46	142,50	296,06	707,16	16,88	0	37,45	8,36	197,90	10,16	0,29	9,20
2	27-28/05/2010	0,57	138,75	295,50	704,78	18,17	0	29,99	0,00	201,68	6,41	0,57	142,90
3	29-30/05/2010	0,71	295,31	288,79	708,62	44,08	6	22,17	0,00	205,18	1,69	0,66	18,49
4	31-01/05/2010	0,35	292,50	294,99	707,53	18,58	0	22,43	0,00	202,67	6,77	1,36	0,00
5	02-03/06/2010	0,90	195,58	294,99	704,50	21,17	0	22,47	0,00	207,01	7,03	0,42	0,00
6	06-07/06/2010	0,81	203,82	299,52	705,89	16,38	0	30,17	0,00	175,46	7,21	0,44	67,76
7	08-09/06/2010	0,87	81,96	301,04	700,92	19,50	0	45,52	0,00	178,67	7,33	0,64	7,76
8	10-11/06/2010	0,25	190,38	295,65	703,00	20,67	0	75,08	0,00	179,63	12,77	0,05	63,47
9	12-13/06/2010	0,50	146,25	294,61	704,33	20,79	0	29,95	0,00	179,00	10,91	0,75	0,00
10	14-15/06/2010	0,68	151,63	294,33	702,28	19,50	9	37,47	0,00	163,86	9,86	1,23	0,00
11	16-17/06/2010	0,62	198,41	297,08	704,67	20,67	0	22,55	0,00	179,59	8,06	0,38	0,00
12	18-19/06/2010	0,10	163,64	291,83	705,27	20,79	0	29,79	0,00	178,33	10,46	0,57	0,00
13	20-21/06/2010	0,60	295,00	289,92	704,04	39,04	0	14,86	52,58	167,13	9,73	0,10	0,00
14	22-23/06/2010	0,85	209,25	290,21	708,40	37,42	0	14,82	0,00	185,51	10,33	0,25	58,71
15	24-25/06/2010	0,46	104,06	295,00	705,97	32,79	0	22,45	52,97	187,50	8,65	0,59	39,44
16	28-29/06/2010	0,62	240,83	297,40	708,23	39,04	0	56,86	0,00	236,70	12,91	0,81	0,00
17	30-01/06/2010	0,69	229,08	296,96	708,16	37,42	0	20,10	0,00	253,54	15,98	0,47	42,30
18	02-03/07/2010	0,43	158,29	299,82	705,80	32,79	0	45,27	0,00	188,90	13,47	0,93	0,00
19	06-07/07/2010	0,64	229,58	296,65	709,66	41,42	0	37,43	3,13	190,37	9,17	0,33	63,28
20	08-09/07/2010	0,50	201,29	299,23	709,60	31,25	0	52,63	64,77	194,08	10,40	0,59	59,57
21	10-11/07/2010	0,41	158,38	302,27	707,67	26,92	0	52,96	0,00	193,79	11,43	0,82	19,79
22	12-13/07/2010	0,55	244,33	301,96	705,80	30,38	0	75,72	0,00	192,94	11,24	0,89	39,90
23	14-15/07/2010	0,67	189,75	303,14	705,37	21,13	0	89,22	0,00	188,97	13,35	0,24	47,07
24	16-17/07/2010	0,35	232,83	304,38	707,13	19,33	0	75,96	0,00	191,08	13,20	0,62	0,00
25	18-19/07/2010	0,74	262,67	300,06	708,64	35,08	0	60,27	0,00	191,94	8,87	0,50	11,71

26	20-21/07/2010	0,41	178,58	302,28	704,72	25,46	0	60,66	0,00	194,93	2,36	0,55	52,03
27	22-23/07/2010	0,49	213,63	306,73	706,26	15,13	0	68,67	0,00	195,79	0,00	0,44	72,60
28	24-25/07/2010	0,91	260,75	296,32	708,16	48,21	0	29,96	0,00	191,80	0,00	0,52	55,36
29	26-27/07/2010	0,65	262,17	294,20	707,00	50,25	0	22,40	0,00	194,48	0,00	0,52	3,68
30	28-29/07/2010	0,40	226,88	299,07	707,22	35,58	0	37,64	0,00	219,16	0,00	0,56	23,69
31	30-31/07/2010	0,67	252,71	297,93	706,02	45,92	0	30,08	3,14	191,42	0,00	0,13	19,67
32	01-02/08/2010	0,34	251,25	302,67	706,47	28,83	0	60,62	18,70	221,32	0,00	0,76	84,18
33	03-04/08/2010	0,33	274,08	297,07	705,53	47,00	0	30,05	0,00	190,45	0,00	0,71	11,68
34	05-06/08/2010	0,07	271,42	296,66	705,23	47,50	0	29,54	0,47	592,55	8,62	0,94	0,00
35	08-09/08/2010	0,07	270,08	296,96	705,53	48,96	0	45,07	0,16	451,99	10,62	1,01	0,00
36	10-11/08/2010	0,33	266,46	296,66	705,23	48,96	0	37,54	0,00	452,86	9,58	1,60	0,00
37	12-13/08/2010	0,38	263,71	297,66	708,33	49,51	0	45,03	0,00	378,52	11,81	1,49	0,00
38	14-15/08/2010	0,21	260,71	297,66	706,34	51,96	0	37,58	0,28	451,73	8,59	0,43	0,00
39	16-17/08/2010	0,21	258,50	298,66	708,33	59,71	0	37,59	0,57	453,58	10,48	1,64	0,00
40	18-19/08/2010	0,38	246,92	299,47	706,34	48,96	0	45,23	0,11	469,34	11,16	0,50	0,00
41	20-21/08/2010	0,43	177,46	305,17	710,42	26,21	0	75,88	0,15	495,12	11,28	0,62	10,46
42	22-23/08/2010	0,23	205,00	298,04	708,14	42,75	0	30,04	0,75	481,64	8,04	1,01	0,00
43	24-25/08/2010	0,28	216,50	302,07	707,60	25,92	0	60,51	0,32	445,82	8,60	0,24	0,00
44	26-27/08/2010	0,21	207,25	299,87	707,92	36,42	0	37,67	0,10	352,03	11,43	0,61	0,00
45	28-29/08/2010	0,50	204,71	299,27	706,43	50,88	0	37,68	0,02	352,42	11,12	0,76	0,00
46	30-31/08/2010	0,29	239,33	295,37	705,85	48,71	0	37,45	0,14	352,35	8,75	0,50	0,00
47	01-02/09/2010	0,43	260,38	301,54	703,31	25,92	0	128,87	0,00	354,31	11,93	1,02	0,00
48	03-04/09/2010	0,15	252,88	292,87	707,36	68,00	6	22,35	0,00	348,85	11,34	0,24	0,00
49	05-06/09/2010	0,27	217,00	297,58	706,39	44,67	0	60,11	0,00	351,21	10,36	0,83	0,00
50	07-08/09/2010	0,34	253,13	298,92	703,41	46,92	8	45,28	0,00	353,24	9,44	0,69	0,00
51	09-10/09/2010	0,44	237,25	293,56	733,42	57,83	0	14,65	0,02	344,31	8,03	0,74	0,00
52	11-12/09/2010	0,10	200,50	294,72	782,02	45,00	0	21,32	0,02	331,30	8,01	0,33	0,00
53	13-14/09/2010	0,30	199,08	294,13	787,56	58,79	0	28,30	0,00	329,80	9,75	0,99	0,00
54	15-16/09/2010	0,21	211,42	293,64	725,08	56,00	0	36,84	0,10	344,53	10,76	1,18	0,00

55	17-18/09/2010	0,83	156,33	299,47	618,61	21,96	0	56,39	0,11	378,50	13,00	1,44	0,00
56	19-20/09/2010	0,20	240,08	297,40	490,08	54,88	0	81,17	0,00	420,54	14,84	0,64	397,72
57	21-22/09/2010	0,21	252,38	296,85	450,22	51,33	0	47,00	0,00	443,26	14,31	1,18	0,00
58	23-24/09/2010	0,82	207,54	296,98	450,04	34,46	0	47,02	0,00	440,13	14,27	1,46	0,00
59	25-26/09/2010	0,18	205,71	290,96	450,04	68,79	0	27,93	0,00	437,82	12,26	1,39	0,00
60	27-28/09/2010	0,19	275,50	292,77	450,04	56,63	0	46,69	0,00	439,00	11,67	1,12	0,00
61	29-30/09/2010	0,08	192,42	289,30	450,04	63,54	0	37,13	0,26	432,46	11,08	0,94	0,00
62	01-02/10/2010	0,16	190,00	295,02	450,04	37,17	0	56,24	0,17	438,95	10,47	1,17	0,00
63	03-04/10/2010	0,52	172,42	300,34	450,04	18,04	0	47,29	0,03	439,56	13,96	1,05	0,00
64	05-06/10/2010	0,15	206,63	295,36	450,04	64,42	0	37,52	0,00	438,32	16,68	0,95	0,00
65	07-08/10/2010	0,30	188,00	299,40	450,04	25,29	0	122,76	0,00	443,28	16,31	1,00	0,00
66	09-10/10/2010	0,14	189,79	297,62	450,04	40,79	2	103,56	0,00	440,84	14,33	0,58	0,00
67	11-12/10/2010	0,45	124,38	293,32	450,04	56,00	7	37,39	0,08	432,11	14,23	0,53	0,00
68	13-14/10/2010	1,46	219,42	289,56	450,04	71,54	5	27,86	0,00	427,30	11,85	0,94	0,00
69	15-16/10/2010	0,08	233,00	291,17	450,04	70,79	0	37,25	0,00	434,23	11,69	1,53	0,00
70	17-18/10/2010	0,26	282,75	286,35	450,04	80,63	9	18,47	0,00	472,47	13,06	1,92	0,00
71	19-20/10/2010	0,08	216,29	283,14	450,04	83,96	1	55,10	0,00	426,46	13,55	1,42	0,00
<b>Moy</b>								44,58	2,92	313,85	9,68	0,78	20,03
<b>Max</b>								128,87	64,77	592,55	16,68	1,92	397,72
<b>Min</b>								14,75	0,02	163,86	1,69	0,05	3,67

## *Conclusion générale*

Cette étude nous a permis de connaître les niveaux des particules PM<sub>10</sub> et de quelques métaux lourds qui leur sont associés à L'EPSP Mentouri à Constantine, quoique ça aurait été plus significatif de faire l'étude au niveau du rond-point de Daksi étant donné qu'il présente un trafic routier plus dense et donc un niveau de pollution particulaire plus élevé. La quantification des PM<sub>10</sub> a révélée des concentrations supérieures aux normes internationales, la concentration moyenne des PM<sub>10</sub> enregistrées au cours de la période d'étude (du 25/05/2010 au 19/10/2010) était de 44.57 µg/m<sup>3</sup>, cette valeur est deux fois supérieure à la valeur guide recommandée par l'OMS qui est de 20 µg/m<sup>3</sup>.

Sur les 71 prélèvements effectués, plus de 29 % dépassent la valeur journalière fixée par l'OMS à 50 µg/m<sup>3</sup>. Ces niveaux relativement élevés peuvent être attribués essentiellement au trafic automobile important empruntant les axes de circulation se trouvant au NW, S et SE du site de mesure des PM<sub>10</sub>. Les vents de sable très fréquents et les feux de biomasse sévissant en été ont également contribué aux niveaux de PM<sub>10</sub> observés.

Les concentrations des éléments métalliques Cu, Zn, Fe, Pb et Cd mesurés étaient de 2.92 ng/m<sup>3</sup>, 313.85 ng/m<sup>3</sup>, 9.67 µg/m<sup>3</sup>, 0.77 µg/m<sup>3</sup> et 20.03 ng/m<sup>3</sup> respectivement. Elles sont très élevées comparées aux normes internationales (valeurs guides de l'OMS, normes européennes, normes américaines) rapportées dans la littérature et en particulier celles relatives au plomb et au cadmium qui sont trois fois et quatre fois supérieures aux normes européennes respectivement.

On a tenté de mettre en évidence les principales sources d'émission des polluants (PM<sub>10</sub> et métaux lourds) par le traitement des fréquences du vent dans les 16 secteurs considérés représentés par la rose des vents correspondant à la période d'étude ainsi qu'au calcul des contributions moyennes des vents et qui ont révélé que l'origine locale des PM<sub>10</sub>, du plomb, du cadmium, du fer et du zinc était liée au trafic routier à proximité du site.

Le cuivre serait lié au trafic et aux rejets des fumées de l'incinérateur situé au NW du site de mesure ainsi qu'aux poussières soulevées par le vent dans cette direction.

Il apparaît donc clairement que même si les particules ont déjà fait l'objet de nombreux travaux et que leurs origines sont aujourd'hui assez bien décrites dans la littérature, en Algérie et plus exactement à Constantine, la contribution relative des différentes sources de particules

aux niveaux atmosphériques observés reste inconnue. Il est important d'estimer avec précision les contributions relatives des sources anthropiques dont le trafic est une composante majeure en milieu urbain et des sources naturelles tels que les vents de sable, les feux de biomasse et éventuellement les nuages volcaniques.

## BIBLIOGRAPHIE

### Introduction

Aubier M. (2000). Allergie respiratoire et pollution atmosphérique. Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique, Vol. 38, p. 499-503.

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). (1998). Expertise collective : diesel et santé. CNRS, Paris, 245 pages.

Dockery W., Pope C.A. 3rd, Xu X. Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G. Jr, Speizer F.E. (1993). An association between air pollution and Mortality in six U.S. cities. N Engl. J Med, 329, 24, p. 1753-1759.

Dockery W. & Pope C.A. (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. Annu Rev Public health, Vol 15, p. 107-132.

Kerbachi R., Oucher N., Bitouche A., Berkouki N., Demri B., Boughedaoui M. & Joumard R. (2009). Pollution par les particules fines dans l'agglomération d'Alger. Colloque International « Environnement et transports dans des contextes différents », Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév, p. 31-40.

Pope C.A, Thun M., Dockery D.W, Ewans J.S., Speizer F.E. & Heath C.W. (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S adults, Am. J. Crit. Care Med, 151, 669-674.

Ramade F. (1982). Eléments d'écologie, écologie appliquée, action de l'homme sur la biosphère, Mc Grow-Hill.

### Partie 1

#### Chap. I

AIRPARIF. (2008) : Surveillance de la qualité de l'air en Ile-de France. Synthèse des connaissances sur les particules en suspension dans l'air.  
[www.airparif.asso.fr](http://www.airparif.asso.fr)

AIRPARIF. (2006). La qualité de l'air dans le département de Seine-Saint-Denis-Émission et concentration des principaux polluants, Rapport d'étude.

Alleman L.Y., Mathe F. (2008). Principales méthodes de prélèvement et d'analyse des éléments traces dans l'atmosphère, Air pur N°75- Deuxième semestre 2008.

Australien Government, Departement of the Environment and Heritage. (2004). State of the Air: Community Summary 1991-2001.  
[http://www.environment.gov.au/atmosphere/air quality/publication/standards.html](http://www.environment.gov.au/atmosphere/air%20quality/publication/standards.html)

[Norme EN 12341. (1999). Qualité de l'air-Détermination de la fraction PM<sub>10</sub> de matière particulaire en suspension- Méthode de référence et procédure d'essai in situ pour démontrer l'équivalence à la référence de méthode de mesurage.

Norme EN 14907 (2005). Méthode de mesurage gravimétrique de référence pour la détermination de la fraction massique PM<sub>2.5</sub> de matière particulaire en suspension dans l'air ambiant.

## **Chap. II**

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse. (2002). Guide Technique N° 7, Pollution toxique et écotoxicologie : notions de base, Novembre 2002.

ASPA association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique en Alsace, (2001).

Alastuey A., Querol X., Plana F., Viana M., Ruiz C.R., Sanchez de la Campa A., Mantilla E. & Garcia dos Santos S. (2006). Identification and chemical characterization of industrial particulate matter sources in southwest Spain. *J Air Waste Manag Assoc* 56, 993-1006.

Baulig A., Poirault J.J., Ausset P., Schins R., Shi T., Baralle D., Dorlhene P., Meyer M., Lefevre R., Baeza-Squiban A. & Marano F. (2004). Physicochemical characteristics and biological activities of seasonal atmospheric particulate matter sampling in two locations of Paris. *Environ Sci Technol* 38, 5985-5992.

Beltzer M. (1976), Non sulfate particulate emissions from catalyst cars - SAE paper 760038-11 pp.

Boulaud D. (2000). Eléments de physique des aérosols : transfert, formation, échantillonnage; journée CITEPA du 8 novembre 2000.

Borm P.J., Robbins D., Haubold S., Kuhlbusch T., Fissan H., Donaldson K., Schins R., Stone V., Kreyling W., Lademann J., Krutmann J., Warheit D. & Oberdorster E. (2006). The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC. *Part Fibre Toxicol* 3, 11.

Boutonnet F. (2000), Université d'Orléans, Etude des métaux lourds dans l'air ambiant en région centre.

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

Choi J.H., Kim J.S., Kim Y.C., Kim Y.S., Chung N.H. & Cho M.H. (2004). Comparative study of PM<sub>2.5</sub> - and PM<sub>10</sub> - induced oxidative stress in rat lung epithelial cells. *J Vet Sci* 5, 11-18.

Degobert P. (1992). *Automobile et pollution*, Edition Technip, Paris.

Encyclopédie Encarta. Collection 2009.

Guibet J-C, Martin B. (1987). *Carburants et moteurs*-Technip, Paris-, 903pp.

Harrison R.M., Smith D.J. & Kibble A.J. (2004). What is responsible for the carcinogenicity of PM<sub>2.5</sub>? *Occup Environ Med* 61, 799-805.

Harry P., Caubet A., Durand G., Mathieu C., Marionneau J., Mauras Y. & Allain P. (1989). Intoxications aiguës par inhalation de chlorures de zinc et d'aluminium (12 observations). *J Toxicol Clin Exper*, 9,359.

Henderson-Sellers B. (1984). Pollution of our atmosphere. Bristol, *Adam Hilger Ltd.*, 210 p.

Hurley RG, Watkins WLH, Griffis RC (1989). Characterization of automotive catalyst exposed to the fuel additive MMT-SAE paper 890582-11pp.

Imrich A, Ning Y & Kobzik L. (2000). Insoluble components of concentrated air particles mediate alveolar macrophage responses in vitro. *Toxicol Appl Pharmacol* 167, 140-150.

INERIS. (2003). Le plomb et ses dérivées, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques-INERIS-DRC-01-25590-ETSC-API/SD-N°00df257 Version N°2 du 3fevrier 03.

Institut Français de l'Environnement (IFEN). (2006). L'air dans l'environnement en France, édition 2006, Orléans, IFEN pp 235-250.

**International Agency for Research on Cancer (IARC). (2006).** Inorganic and organic lead compounds summary of data reported and evaluation. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human, Volume 87.

Johnson J.H. (1988). Automotive emissions: in Air pollution, the automobile and public health. Editor A.Y. Watson. Nat. Acad. Press. Washington pp 39-75.

Joumard R. (1981). Les particules émises par les transports terrestres – étude bibliographique introductive- INRETS Rapport - 56 pp.

Lefèvre R. & Ausset P. (2001). Les effets de la pollution atmosphérique sur les matériaux du patrimoine bâti : La pierre et le verre, *pollution Atmosphérique*, 172,571-588.

<http://www.danger-santé.org>.

Lioy P.J. (1987). Toxic air pollution. LEWIS publishers- Chelsea- Mich- 294 pp.

Long J.F., Waldman W.J., Kristovich R., Williams M., Knight D. & Dutta P.K. (2005). Comparison of ultrastructural cytotoxic effects of carbon and carbon/iron particulates on human monocyte-derived macrophages. *Environ Health Perspect* 113, 170-174.

Lynch J.R. (1968), Brake lining decomposition products- J.APCA 18, pp 824-826.

MacNee W. & Donaldson K. (2000). Exacerbations of COPD: environmental mechanisms. *Chest* 117, 390S-397S.

Malbreil N. (1997), “La pollution en bordure d'autoroute et son impact sur la végétation”, DESS, ressources naturelles et environnement, Université de Metz, CETE de l'est.

Masclet P & Cachier H. (1998). L'aérosol atmosphérique. Caractéristiques physico-chimiques, *Analisis Magazine*, 26, n°9, M11-17.

Ministère de l'environnement d'Ontario (Canada). (2001). Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : (cuivre dans l'environnement, sep 2001).

OCDE (1995). La pollution des véhicules à moteur - Stratégies de réduction au-delà de 2010. Les Editions de l'OCDE. Paris.

Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques. (2001). Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé présenté par le sénateur Gérard Miquel le 5 avril 2001.

OMS. (2005). La pollution atmosphérique par les particules en suspension, ses effets sur la santé (Aide-mémoire EURO04/05), Organisation Mondiale de la Santé.

Pope CA, 3rd, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K & Thurston GD. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Jama* 287, 1132-1141.

Primqual-predit. (2005). Pollution par les particules atmosphériques : état des connaissances et perspectives de recherche, La documentation française. Paris.  
[www.citepa.org](http://www.citepa.org).

[www.terrefemme.com/danger-les-metaux-lourds-sources-et-effets.html](http://www.terrefemme.com/danger-les-metaux-lourds-sources-et-effets.html).

Pichard A et al. (2005). Le cuivre et ses dérivés, INERIS- Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques.

[www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=149](http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=149).

[www.lennetech.com](http://www.lennetech.com).

Quisefit J.P. & Gaudichet A. (1998). Prélèvement des aérosols atmosphériques et analyse inorganique. *Analisis Magazine*, 26, n°9, M21-27.

Renoux A. (1990). Ce qu'il faut savoir sur l'aérosol atmosphérique. *Pollution Atmosphérique*, 125.

Rodriguez S, Querol X, Alastuey A, Viana MM, Alarcon M, Mantilla E & Ruiz CR. (2004). Comparative PM10-PM2.5 source contribution study at rural, urban and industrial sites during PM episodes in Eastern Spain. *Sci Total Environ* 328, 95-113.

Société française de santé publique (SFSP). (1996). “ La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique ”. Bilan de 15 ans de recherche internationale, Collection Santé et société, 4, SFSP, Vandœuvre-lès-Nancy.

Stern. Academic Press, Fundamentals of air pollution, (1984).

Vassilakos C, Saraga D, Maggos T, Michopoulos J, Pateraki S & Helmis CG. (2005). Temporal variations of PM<sub>2.5</sub> in the ambient air of a suburban site in Athens, Greece. *Sci Total Environ* 349, 223-231.

### **Chap. III**

Barnea M. (1974). Pollution et protection de l'atmosphère, Eyrolles. Paris.

Bilan des données de pollution par les poussières (PM<sub>10</sub>) au niveau d'Alger de 2001 à 2006, INSP. Alger, Février 2007.

CITEPA (centre interprofessionnel et technique d'étude de la pollution atmosphérique).

Deltras G et Paul E. (1998). Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routier à proximité des routes et autoroutes, contrat ADEME n° 9793022, université Josef Fourier, université et Pau et des pays de l'Adout.

### **Partie.2**

#### **Chap.1**

Kuvarega A.T. & Taru P. (2008). Ambient dust speciation and metal content variation in TPS, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> in urban atmospheric air of Harare (Zimbabwe). *Environ. Monit Assess* 144 :1-14.

### **Partie.3**

#### **Chap. I**

Qin Y. & Oduyemi K. (1998). Chemical composition of atmospheric aerosol in Dundee, UK. *Atmospheric environment* 37, 93-104.

#### **Chap.II**

Abu-allaban M., Lowenthal D.H., Gertler A.W. & Labib M. (2007). Sources of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Cairo's ambient air. *Environ Monit Assess.* 133:417-425.

Artiñaro B., Salvador P., Alonso D.G., Querol X., Alastuey A., (2003). Anthropogenic and natural influence on the PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> aerosol in Madrid (Spain). Analysis of concentration episodes.

Boumegoura N. & Habbas B. (2003). Evaluation des retombées atmosphériques et leur modélisation autour de la cimenterie de Hama Bouziane. Mémoire de fin de cycle d'ingénieur en écologie et environnement, option Pathologie des Ecosystèmes, université Mentouri Constantine.

Directives 2004/107/CE du parlement européen et du conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatique polycycliques dans l'air ambiant, Journal officiel de l'union européenne L 23 du 26 janvier 2005, p 3-16.

J. E. Celis, J. R. Morales, C. A. Zaror & J. C. Inzunza. (2003). A study of the particulate matter PM<sub>10</sub> composition in the atmosphere of Chillan, Chile.

Pandey K., Wheeler D., Ostro B., Deichmann U., Hamilton K. & Bolt K. (2006). Ambient particulate matter concentrations in residential and pollution hotspot areas of world cities: New estimates based on the Global Model of Ambient Particulates (GMAPS) The World Bank Development Economics Research Group and the Environment Department Working Paper. The World Bank, Washington.

Office National des Statistiques. Données du 31/12/2009. Parc national automobile (2009).

Seraghni N. (2007). Mesure de la pollution particulaire et métallique dans l'air ambiant au niveau trois sites urbains de la ville de Constantine. Mémoire de magister en chimie analytique et physique, Laboratoire de Pollution et Traitement des Eaux, Université de Constantine.

# **ANNEXES**

## **ANNEXE 1**

### **NORME DE QUALITE DE L'AIR**

#### **Législation et norme de qualité de l'air en Algérie :**

Pour prévenir et réduire les pollutions et les nuisances, l'Algérie dispose d'un dispositif juridique important qui s'articule autour du **Décret exécutif n° 06-02 du 7 janvier 2006** sur la protection de l'environnement, qui a été suivie par toute une série de textes d'application. Mais, sur le plan pratique, l'abondance de normes juridiques, n'a pas toujours été suivie d'une réelle application sur le terrain.

Ce dispositif juridique se résume comme suit :

**Décret exécutif n° 06-02 du 7 Dhou El Hidja 1426 correspondant au 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique.**

Art. 4. La surveillance de la qualité de l'air est confiée à l'observatoire national de l'environnement et du développement durable. Elle s'effectue selon les modalités techniques fixées par arrêté du ministre chargé de l'environnement.

Art. 5. La détermination des objectifs de qualité de l'air et des valeurs limites de pollution atmosphérique est fixée sur une base moyenne annuelle.

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

Pour les particules fines en suspension :

- a) objectif de qualité : 50 micro grammes/Nm<sup>3</sup> ;**
- b) valeur limite : 80 micro grammes/Nm<sup>3</sup>.**

(Journal officiel de la république algérienne n° 018 : Dhou El Hidja 1426 correspondant au 8 janvier 2006)

#### **Normes internationales de qualité de l'air :**

- **Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air pour les particules**
  - **Particules PM<sub>2.5</sub>:**
    - **10 µg/m<sup>3</sup>** moyennes annuelles
    - **25 µg/m<sup>3</sup>** moyenne sur 24 heures

- **Particules PM10:**
  - 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  moyennes annuelles
  - 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  moyenne sur 24 heures

(Organisation mondiale de la Santé, 2006)

- **Directives Européennes**

Valeurs cibles

- **Particules PM2.5 : 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Valeurs limites

- **Particules PM10 :**
  - 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  - moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an
  - 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  - moyenne annuelle
  
- **Particules PM2.5 :**
  - 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  A partir de 2015
  - 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  A partir de 2020

([www.atmo-alsace.net/medias/produits/Normes.pdf](http://www.atmo-alsace.net/medias/produits/Normes.pdf)).

- **Normes américaines**

- **Particules PM<sub>10</sub> :**
  - 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  - moyenne journalière
  - 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  - moyenne annuelle

(Qualité de l'air et changement climatique en Amérique du Nord : Normes, réglementation, planification et application des lois au palier national, étatique/provincial et local. Commission de coopération environnementale 17 mai 2004 p 39)

**Terminologie des normes nationales et des directives européennes**

**Objectif de qualité :** Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère à atteindre à long terme, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

**Valeur cible :** Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné.

**Valeur limite :** Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé sur la base des connaissances scientifiques à ne pas dépasser dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.

## ANNEXE 2

### Les courbes d'étalonnage des métaux lourds

#### La courbe d'étalonnage du cuivre

Une série d'échantillons a été préparé en vue de l'établissement de la courbe d'étalonnage à partir de la solution mère. Cette dernière comprend les concentrations suivantes :

0.5 ppm ; 1 ppm ; 1.5 ppm ; 3 ppm et 5 ppm

L'analyse par l'absorption atomique, a donné les résultats suivants :

Concentration (ppm)	lecture
0.500	0,500
1.000	1,000
1.500	1,407
3.000	2,916
5.000	5,050

Ces résultats nous mènent à tracer la courbe suivante :

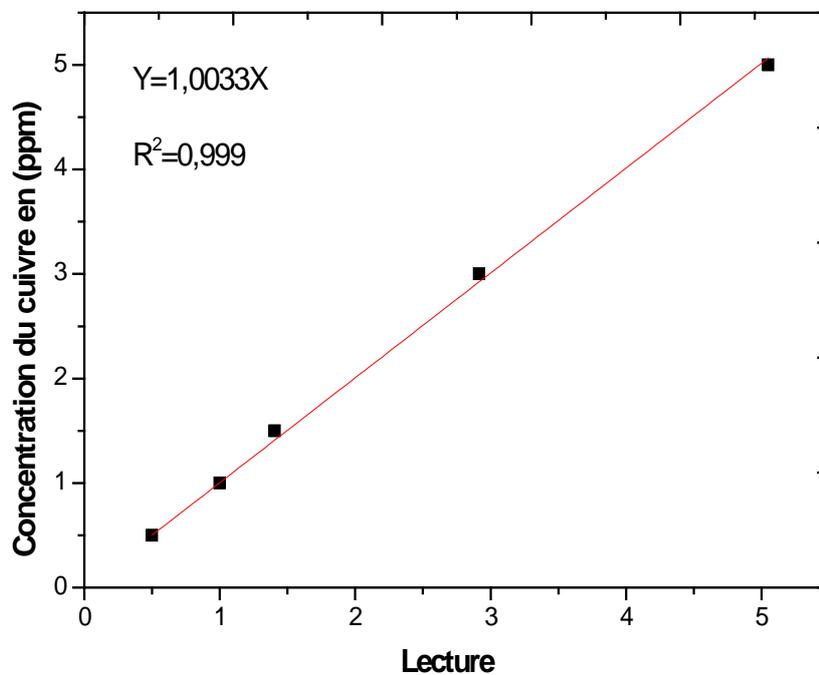


Figure 28. Courbe d'étalonnage du cuivre

### La courbe d'étalonnage du Zinc

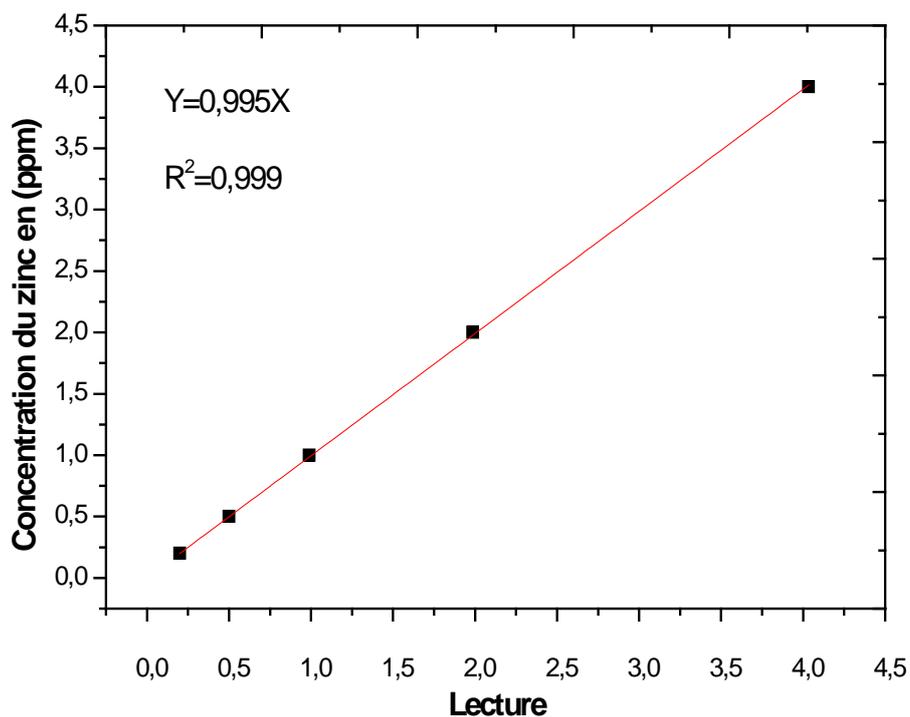
Une série d'échantillons a été préparé en vue de l'établissement de la courbe d'étalonnage à partir de la solution mère. Cette dernière comprend les concentrations suivantes :

0.2 ppm ; 0.5 ppm ; 1 ppm ; 2 ppm et 4 ppm

L'analyse par l'absorption atomique, a donné les résultats suivants :

Concentration (ppm)	Absorbance
0,200	0,200
0,500	0,500
1,000	0,990
2,000	1,986
4,000	4,033

Ces résultats nous mènent à tracer la courbe suivante :



**Figure29. Courbe d'étalonnage du zinc**

### La courbe d'étalonnage du fer

Une série d'échantillons a été préparé en vue de l'établissement de la courbe d'étalonnage à partir de la solution mère. Cette dernière comprend les concentrations suivantes :

1 ppm ; 2 ppm ; 3 ppm ; 4 ppm ; 5 ppm et 6 ppm

L'analyse par l'absorption atomique, a donné les résultats suivants :

Concentration (ppm)	Absorbance
1.000	1,000
2.000	2,000
3.000	2,870
4.000	3,910
5.000	----
6.000	5.840

Ces résultats nous mènent à tracer la courbe suivante :

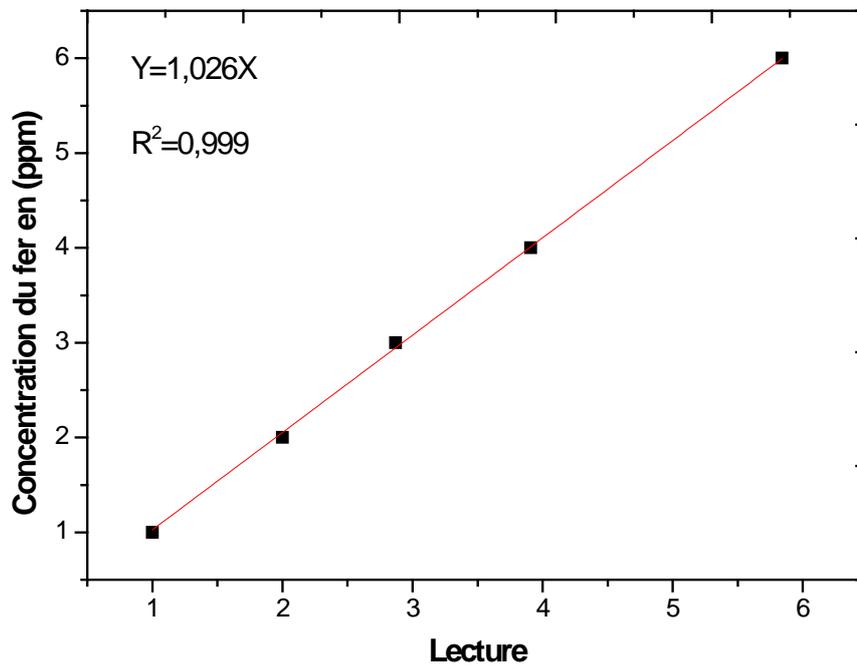


Figure30. Courbe d'étalonnage du fer

### La courbe d'étalonnage du plomb

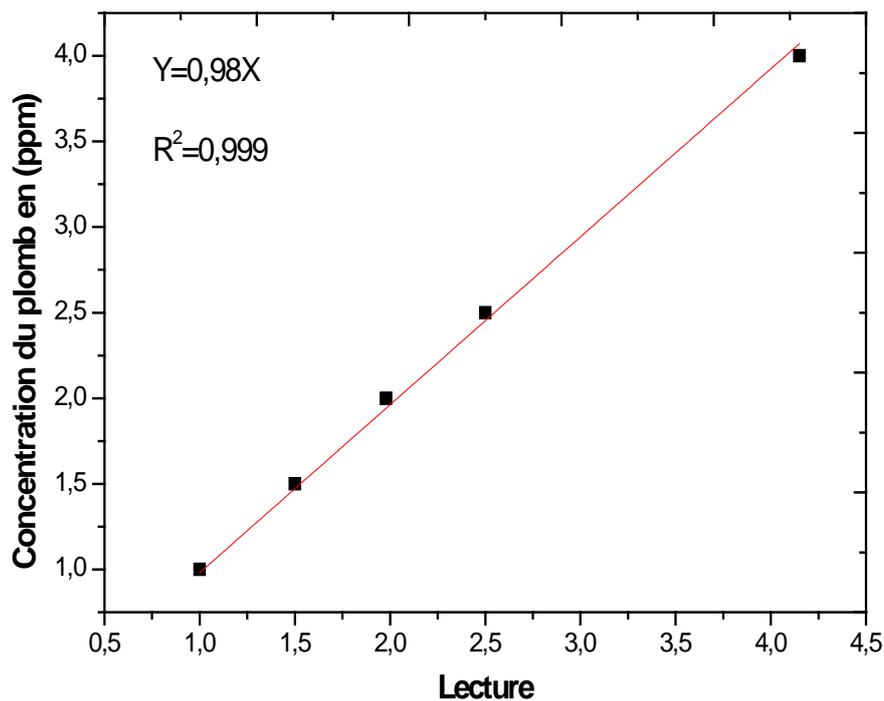
Une série d'échantillons a été préparé en vue de l'établissement de la courbe d'étalonnage à partir de la solution mère. Cette dernière comprend les concentrations suivantes :

1 ppm ; 1.5 ppm ; 2 ppm ; 2.5 ppm et 4 ppm

L'analyse par l'absorption atomique, a donné les résultats suivants :

Concentration (ppm)	Absorbance
1,000	1,000
1,500	1,500
2,000	1,980
2,500	2,500
4,000	4,150

Ces résultats nous mènent à tracer la courbe suivante :



**Figure 31. Courbe d'étalonnage du plomb**

### La courbe d'étalonnage du cadmium

Une série d'échantillons a été préparé en vue de l'établissement de la courbe d'étalonnage à partir de la solution mère. Cette dernière comprend les concentrations suivantes :

0.05 ppm ; 0.5 ppm ; 1 ppm et 2 ppm

L'analyse par l'absorption atomique, a donné les résultats suivants :

Concentration (ppm)	Absorbance
0,050	0,050
0,500	0,500
1,000	0,887
2,000	1,947

Ces résultats nous mènent à tracer la courbe suivante :

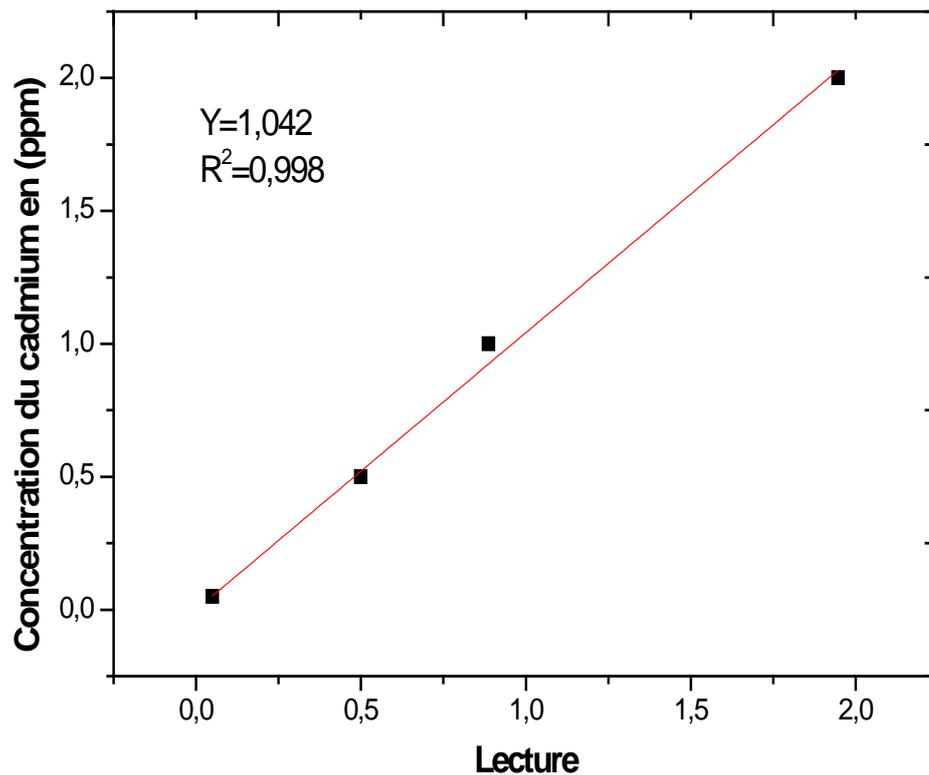


Figure 32. Courbe d'étalonnage du cadmium

## **ANNEXE 3**

### **Définition des rétro trajectoires**

Pour savoir d'où vient une masse d'air et où elle se déplace, les météorologues font appel au concept de trajectoires.

Une trajectoire est la voie suivie par un paquet d'air durant un laps de temps déterminé. Elle relie tous les lieux que touche une masse d'air au cours de son déplacement. Le calcul des trajectoires permet aussi, entre autres, de déterminer l'origine et le transport des pollutions atmosphériques.

Il est donc possible de visualiser les trajectoires des masses d'air pour n'importe quel point du globe et en temps réel. On peut en outre observer la transformation de ces masses d'air durant leur trajet.

En utilisant les données analysées, on peut inverser le sens du calcul et remonter dans le temps pour obtenir des rétro-trajectoires qui permettent, à partir des différents points de départ où l'on a observé de la pollution, de détecter son origine.

## ANNEXE 4

### CALIBRAGE DU COLLECTEUR TAS

Le but essentiel du calibrage de l'appareil est la détermination du débit de fonctionnement pour le calcul des concentrations des PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

#### FEUILLE DE CALIBRAGE

Station : EPSP Mentouri	Date :	Heure :	
Modèle du collecteur : TAS	Opérateur :		
Pa = 940 mb = 704.76 mm Hg ; Ta = 24.2 °C = 297.2 °K			
Conditions inhabituelles: /			
Date de calibrage de l'orifice: 10/06/2009			
Droite de calibrage de l'orifice : m <sub>flo</sub> = 5.5279, b <sub>flo</sub> = 0.0247 ; r <sup>2</sup> = 0.9998			
Rotameter flow rates Q <sub>ind</sub>	ΔH (in.)	Q <sub>act</sub> (l/min)	Q@std (l/min)
6.5	4.20	7.44	7.43
6.0	3.55	6.84	6.83
5.5	2.78	6.04	6.038
5	2.32	5.51	5.50
4.5	1.83	4.88	4.88
4	1.41	4.28	4.28

$$Q_{act} = m_{flo} x \sqrt{\frac{\Delta H x T_{act}}{P_{act}}} + b_{flo}$$

$$Q_{@std} = Q_{act} x \sqrt{\frac{T_{std} P_{act}}{T_{act} P_{std}}}$$

$$Q_{@std} = m_{vol} Q_{ind} + b_{vol}$$

$$Q_{act} = (m_{vol} Q_{ind} + b_{vol}) x \sqrt{\frac{T_{act} P_{std}}{T_{std} P_{act}}}$$

m<sub>vol</sub> = slope of the MiniVol™ flow rate calibration relationship = 1.198

b<sub>vol</sub> = intercept of the MiniVol™ flow rate calibration relationship = -0.691

$$I_{sp} = \frac{5.0 x \sqrt{\frac{T_{std} P_{act}}{T_{act} P_{std}} - b_{vol}}}{m_{vol}} = 4.601$$

## Résumé

La pollution particulaire et plus exactement par les  $PM_{10}$  et par certains éléments métalliques a été étudiée pour la première fois à Constantine dans un site de proximité type station trafic. Ce site se situe sur la terrasse de l'établissement de proximité de santé publique Mentouri Bachir. Un nombre total de 71 échantillons ont été prélevés une fois tous les deux jours du 24/03/2010 au 20/10/2010 à l'aide d'un préleveur de poussières fines dénommé « Tactical Air Simpler » de marque Airmetrics avec un débit d'aspiration de 5 l/min. L'appareil se trouve à une hauteur de 6 mètres au dessus du sol et à une distance de 8 mètres de la chaussée.

Une station météorologique de type WMR928N est installée sur la terrasse de l'établissement afin de nous fournir les données météorologiques horaires enregistrées. Les résultats obtenus lors de cette campagne de mesures révèlent l'existence d'une pollution par les  $PM_{10}$  et certains éléments métalliques (Cu, Zn, Fe, Pb, Cd). Les résultats révèlent une concentration moyenne en  $PM_{10}$  de l'ordre de  $44.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valeur supérieure à la norme européenne et à la valeur guide recommandée par l'OMS et comparable à celles mesurées dans d'autres villes de la méditerranée.

Les corrélations entre les résultats obtenus et la direction du vent permettent d'identifier les secteurs du vent contribuant le plus à la pollution, ce qui nous a permis d'identifier l'origine de cette pollution qui est essentiellement liée au trafic routier.

Il apparaît nécessaire de développer des études dans nos villes, tant sur les niveaux de pollution que sur leurs effets sanitaires et environnementaux et de mettre en place des réseaux de surveillance, d'améliorer la réglementation et de veiller à son respect.

**Mots clés :** pollution particulaire,  $PM_{10}$ , éléments métalliques, trafic routier, sources de pollution

## Abstract

The present study investigates PM<sub>10</sub> and metallic elements levels in the city of Constantine. Samples of ambient PM<sub>10</sub> were collected once every two days nearby a traffic road on the roof of a health clinic (Mentouri Bachir) from 24/03/2010 to 24/05/2010 using an airmetrics Mini Vol portable air sampler which operated at 5 liters per minute. Sampling times were 24 hours. The height of the sampling site is approximately 6 m above ground level and 8 m away from the adjacent road.

Hourly observations of wind speed, wind direction, temperature, atmospheric pressure, precipitation and relative humidity that may affect the degree of pollution at the study area were obtained from an automatic weather station.

Significant average concentrations of PM<sub>10</sub> and metallic elements Cu, Zn, Fe, Pb and Cd were found. The average PM<sub>10</sub> concentration was 44.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . It exceeded the European annual standard and WHO guide value, but similar to levels generally observed in other Mediterranean towns. Meteorological data allowed an investigation into the contribution of each wind sector on measured concentrations. The major source of PM<sub>10</sub> and metallic elements was road traffic. It is necessary to set up ambient air quality monitoring networks and develop environmental legislation in order to improve the air quality in our cities.

**Key words:** Particulate pollution, PM<sub>10</sub>, metallic elements, road traffic, pollution sources

## ملخص

قد تمت دراسة جزيئات التلوث وبشكل أكثر تحديدا جزيئات PM10 وبعض العناصر المعدنية في موقع حضري بقسنطينة قريب من طريق ذو كثافة مرورية ، هذا الموقع موجود أعلى مؤسسة الصحة الجوارية العمومية (منتوري بشير) ، قمنا بإجراء مجموعة من العينات قدرت ب 71 عينة مرة كل يومين خلال الفترة الممتدة بين 2010/03/24 و 2010/10/20 باستخدام جهاز لتجميع الغبار من نوع (Airmetrics) بندق شفت يقدر ب 5 لتر في الدقيقة ، هذا الجهاز متواجد على ارتفاع 6 أمتار من سطح الأرض ويبعد مسافة 8 أمتار من الطريق، وضعنا أيضا في هذا الموقع محطة للرصد الجوي من نوع (WMR928N) لإمدادنا بكل البيانات المسجلة الأرصاد الجوية للساعة . النتائج المتحصل عليها أثبتت وجود تلوث للهواء ب PM10 وبعض العناصر المعدنية مثل (Zn, Mn, cu, Fe, Mg, K, Na) ، حيث وصل معدل التركيز  $44.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  وهي قيمة تتجاوز كل من المعايير الأوروبية و القيمة المسموح بها من طرف منظمة الصحة العالمية (OMS) ، لكنها مقاربة للمعدلات المسجلة في بعض دول البحر الأبيض المتوسط.

مقارنة النتائج مع اتجاه الرياح سمح لنا بتحديد مختلف قطاعات الرياح المساهمة أكثر في التلوث، و منه التعرف على مصادر هذا التلوث.

**المفاتيح:** التلوث الجوي، PM10، العناصر المعدنية، الكثافة المرورية