

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, de la végétation et de 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).

L'explosion démographique, le développement des activités humaines de type industriel et agricole, associés à un accroissement des moyens de transport, ont entraîné au cours du siècle dernier, un changement de notre environnement affectant aussi bien l'atmosphère que les océans, la biosphère et les surfaces continentales.

L'abréviation « PM_x » pour « Particulate matter » avec un indice de taille est utilisée pour décrire les particules inhalables de diamètre aérodynamique inférieur à une valeur déterminée de l'ordre de « $x \mu m$ » ; on distingue trois principales classes : PM_{10} , $PM_{2.5}$ et $PM_{1.0}$ dont les effets sanitaires sont plus graves quand la taille est plus petite.

Ainsi, de nombreuses études ont mis en avant l'importance de la taille des particules pour deux raisons : ce paramètre joue un rôle important d'une part sur leur capacité à pénétrer dans les voies aériennes (les plus fines pénètrent le plus profondément) et d'autre part sur leur capacité à réagir avec les composants cellulaires.

Constantine se place parmi les villes les plus importantes du pays ; la wilaya s'étend sur une superficie de l'ordre de $2\,297,20 \text{ km}^2$ pour une population estimée à 1,25 millions d'habitants soit une densité de l'ordre de $652 \text{ habitants / km}^2$, et un taux d'urbanisation qui a atteint plus de 94%. Cette agglomération urbaine en plus de l'activité industrielle et la circulation automobile que connaît la ville sont des facteurs de croissance mais aussi de dégradation de l'environnement de la ville et de son air par différents polluants ; la qualité de l'air de cette ville doit donc être contrôlée.

Ce travail vise à estimer les concentrations simultanées de PM10 et PM2.5 sur un site trafic pendant une période de 1 mois. Cela permettra de comparer les niveaux de PM10 et PM2.5 et d'expliquer les raisons des écarts observés.

Par ailleurs, des mesures simultanées des éléments métalliques suivants ont été effectuées : Cd, Ca, Mg, Na et Fe. On tentera d'identifier leurs origines.

I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.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 μm à 100 μm .

De façon théorique, les matières particulaires sont décrites sous forme de sphères permettant de ne considérer qu'un seul paramètre pour les caractériser ; c'est leur diamètre aérodynamique. Ce dernier est égal au diamètre d'une sphère de masse volumique de 1 g/cm^3 et dont la vitesse de chute est égale à celle de la particule considérée en absence de vent et de turbulences (Goulaouic, 2009).

I.2. Classification des particules

I.2.1. Classification selon la taille des particules

On considère différentes tailles de particules qui sont déterminées en fonction du diamètre aérodynamique. La taille des particules peut aller d'environ 0.02 μm à 100 μm de diamètre. On distingue trois types : grosses, fines et ultrafines.

I.2.1.1. PM₁₀ ou grosses particules

Ce sont les particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 μm ; ces particules peuvent pénétrer dans l'appareil respiratoire jusqu'aux voies aériennes supérieures (Goulaouic, 2009). Elles sont produites principalement par des phénomènes mécaniques. De ce fait, on y trouve en quantité des éléments minéraux et organiques venant du sol et de la végétation (Seraghni, 2007).

I.2.1.2. PM_{2,5} ou particules fine

Ce sont les particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2.5 µm. Ces particules pénètrent l'appareil respiratoire jusqu'aux alvéoles pulmonaires (Goulaouic, 2009). Elles proviennent de la condensation de vapeurs peu volatiles et de phénomènes de coagulation. On y trouve en grande quantité des composés organiques ; c'est dans cette gamme que se trouvent les particules émises par les pots d'échappement des véhicules à moteur, une fois les effluents condensés et coagulés dans l'air. (Seraghni, 2007).

I.2.1.3. PM_{0,1} ou particules ultrafines

Ce sont les particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 1.0 µm, avec une propriété de pénétration au niveau intracellulaire spécifique (Goulaouic, 2009). Ces particules résultent de transformations gaz-solide dans l'atmosphère (Seraghni, 2007).

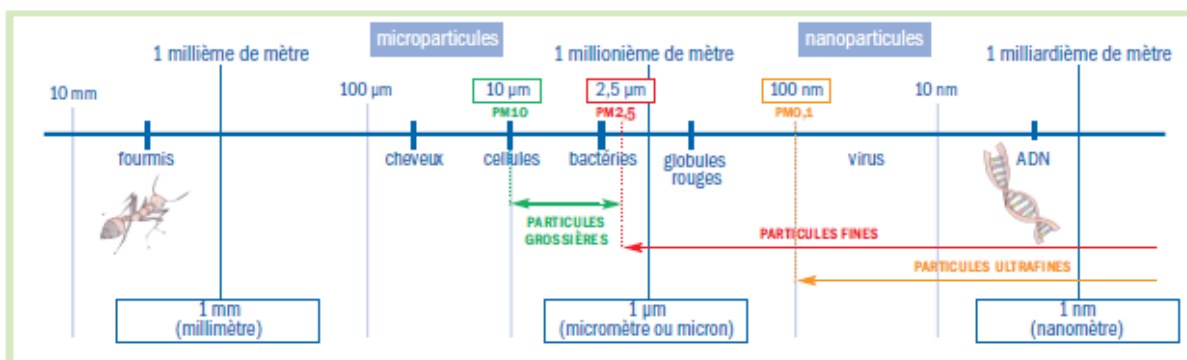


Figure 1. Schéma représentant les différentes tailles de particules dans l'air

I.2.2. Classification selon le mécanisme de formation

I.2.2.1. Les particules de type primaire

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).

I.2.2.2. Les particules de type secondaire

Les particules secondaires 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_x (oxydes d'azote), émis par la circulation automobile et certains procédés industriels, en nitrates mais aussi de la transformation du SO₂ issu de combustibles contenant du soufre en sulfates (OMS, 2005, Vassilakos et al., 2005).

I.3. Les sources d'émission

Les matières particulaires peuvent provenir de deux principales sources : naturelles et anthropiques (liées aux activités humaines).

I.3.1. Sources naturelles

I.3.1.1. Formation d'embruns marins

L'éclatement de bulles produites lors du déferlement des vagues produit de fines particules dans l'atmosphère appelées « embruns marins ». Ces derniers retombent parfois sur quelques kilomètres (Lamaison, 2006).

I.3.1.2. Envol des poussières du sol et érosion des roches sous l'action du vent

Le vent peut mettre en suspension des particules du sol ou des roches par érosion (Lamaison, 2006).

I.3.1.3. Eruptions volcaniques

Elle est à l'origine des cendres volantes et des gaz (IGEAT, 2006).

I.3.1.4. Sources biogéniques

Les pollens, les spores, les bactéries et les virus peuvent être transportés dans l'atmosphère formant des particules atmosphériques (Lamaison, 2006).

I.3.2. Sources anthropiques

I.3.2.1. Agriculture

Les activités agricoles sont aussi génératrices de particules anthropiques, notamment secondaires, par la production de précurseurs. Il s'agit principalement de l'ammoniac (NH_3), mais aussi d'autres composés azotés (NO_x). Un problème important est l'utilisation excessive des engrais azotés (chimiques ou organiques) dans les cultures (IGEAT, 2006).

I.3.2.2. Industrie

Plusieurs activités industrielles sont responsables de ce type de pollution telles que : l'industrie chimique, l'industrie agro-alimentaire, le traitement des déchets et l'utilisation des peintures et solvants (Lamaison, 2006).

I.3.2.3. Le secteur domestique

C'est une source d'émission tant des $\text{PM}_{2.5}$ que des PM_{10} . La combustion domestique par le chauffage est la cause principale de cette émission. Les chaudières et les sèche-linges sembleraient aussi contribuer à cette émission (IGEAT, 2006).

I.3.2.4. Combustion

Les combustions, feux de bois ou encore fumées de cigarettes sont des phénomènes émetteurs de particules (Tombette, 2007).

I.3.2.5. Transport

Le transport est une source émettrice de particules de façon directe ou indirecte. Les émissions liées au trafic présentent plus de 50% du total des émissions des PM_{10} dans les pays industrialisés (80% à Londres, 66.5% à Athènes et 82% en Malaisie). Ce problème est plus sérieux dans les pays développés que dans les pays en voie de développement (Han *et al.*, 2005).

Le trafic routier renforce la pollution particulaire comme suit :

Les véhicules automobiles sont dans leur quasi totalité équipés de moteurs thermiques alimentés avec des carburants liquides « essence ou diesel » issus de la transformation du pétrole. La combustion de ces hydrocarbures génère un certain nombre de composants des

particules ; ce sont essentiellement les particules de suies, le carbone organique, les produits de transformation des NO_x et du SO₂, Pb, Mn, Cu, Cr, Ni, Mg, As, Cd, Co ...etc.

La poussière collectée à la surface du sol et dont les sources d'émission sont bien diverses peut être surélevée par le mouvement des véhicules et mise en suspension dans l'air (Barlow *et al.*, 2007).

Une quantité du caoutchouc des pneus est perdue lors du freinage ou de l'accélération du véhicule. Cela est dû à l'énergie de friction entre les pneus et la surface du sol ; environ 10% de cette matière perdue est émise dans l'air sous forme de matière particulaire (Barlow *et al.*, 2007).

I.4. Temps de résidence

La durée du séjour atmosphérique des aérosols varie en fonction de plusieurs paramètres dont les conditions météorologiques (vent, température, humidité), la nature des particules (matrice minérale ou organique) et surtout leur granulométrie. D'après Renoux (1990), dans la troposphère (0 à 11 km d'altitude), le temps de séjour le plus long (environ 10 jours) correspond à des aérosols de 0,1 µm. Par contre les particules les plus grosses (> 10 µm) possèdent les temps de séjour les plus courts (quelques minutes à quelques heures) : leur principale cause de disparition est le dépôt sec. Dans la stratosphère (11 à 53 km d'altitude), la durée de vie d'une particule peut atteindre plusieurs années.

I.5. Valeurs réglementaires des concentrations en poussières en suspension PM10 et PM2.5 dans l'air ambiant

Les valeurs réglementaires imposées dans l'union européenne et en Algérie et les valeurs guides de l'OMS sont reprises dans le tableau suivant.

Tableau 1. Valeurs réglementaires imposées dans l'union européenne et en Algérie et les valeurs guides de l'OMS

	EU	OMS	Réglementation algérienne
PM10	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ moyenne annuelle	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Moyenne annuelle	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Moyenne annuelle
	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ moyenne de 24h, a ne pas dépasser 35 fois par an	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ moyenne de 24-h	
PM 2,5	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Moyenne annuelle	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Moyenne annuelle	
	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ moyenne annuelle (à remplir en 2020)	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Moyenne de 24-h	

I.6. Effets des particules sur la santé humaine et sur l'environnement

I.6.1. Effet des particules sur la santé humaine

Lorsqu'on respire l'air pollué de la ville, les particules peuvent facilement pénétrer dans nos poumons provoquant des maladies au niveau du système respiratoire (Hare et al, 2002)

Les particules ont plus d'effets sur la santé que tout autre polluant parce qu'elles pénètrent dans le corps par le système respiratoire (OMS, 2011).). La toxicité de ces particules dépend de leur composition chimique et leur taille. Ce dernier facteur est très important dans le processus d'inhalation qui est la voie majoritaire d'introduction des particules dans l'organisme. Plus les particules sont fines plus leur pénétration dans le système respiratoire est profonde (Miet, 2008).

I.6.2. Effets sur l'environnement

Les matières particulaires sont des polluants atmosphériques, leur présence avec des concentrations élevées peut donc avoir un impact sur les écosystèmes.

- Les particules sont responsables de la diffusion de la lumière observée lors des épisodes de pollution urbaine et réduisent ainsi la visibilité (Miet, 2008).

- Les aérosols absorbent ou réfléchissent les radiations solaires et contribuent au réchauffement ou au refroidissement du climat. Leur effet global est probablement un effet de refroidissement (Miet, 2008).
- En jouant le rôle de noyaux de condensation, les particules favorisent la formation des nuages et modifient ainsi les conditions d'irradiation lumineuse (Miet, 2008).
- Les particules provoquent la modification des régimes de précipitation, la pollution du sol, des eaux et de la végétation (Lamaison, 2006).

I.7. Influence des paramètres météorologiques

La qualité de l'air est influencée par une combinaison de facteurs. Elle dépend des sources de pollution mais aussi de la topographie et de la météorologie.

La météorologie est un élément essentiel dans l'appréhension des phénomènes de dispersion de la pollution. Des paramètres météorologiques, on tire deux informations : les types de temps favorables ou défavorables à la dispersion des polluants d'une part, et les types de temps favorables ou défavorables à la transformation physico-chimique des polluants (INSP, 2007).

I.7.1. Vent

Est l'un des paramètres météorologiques les plus importants pour le transport et la dispersion des polluants. Il intervient à toutes les échelles tant par sa direction que par sa vitesse. L'influence du vent sur la pollution atmosphérique est très variable selon la position de la source. Généralement la vitesse du vent augmente avec l'altitude. Au fur et à mesure que les polluants s'élèvent, la dispersion est facilitée par le vent. Plus le vent est fort, plus les niveaux de pollution seront bas. En revanche, un vent de faible vitesse favorise l'accumulation locale des polluants (N. Diaf et al, 2003).

I.7.2. 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.

I.7.3. 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).

L'humidité est susceptible d'influencer la transformation des polluants primaires lors de leur transport. Ainsi lorsque l'atmosphère est sèche, le dioxyde de soufre (SO_2) et le dioxyde d'azote (NO_2) se transforment en sulfates (SO_4^{2-}) et en nitrates (NO_3^{2-}) tandis qu'ils se transforment en acide sulfurique (H_2SO_4) et en acide nitrique (HNO_3) lorsque l'atmosphère est humide. Ces polluants sont ainsi susceptibles de retomber sous forme de dépôts humides ou secs.

I.7.4. Précipitations

Les concentrations en polluants dans l'atmosphère diminuent nettement par temps de pluie, notamment pour les poussières et les éléments solubles tels que le dioxyde de soufre (SO_2) qui sont entraînés au sol (phénomène de lessivage de l'atmosphère).

I.7.5. Turbulence atmosphérique

Les situations dépressionnaires (base 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) où 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).

1.7.6. Rugosité et revêtement du sol

La rugosité et le revêtement du sol influencent l'écoulement des flux gazeux, donc la turbulence des masses d'air et par conséquent, la dispersion des polluants. Un sol rugueux augmente la turbulence et stimule le dépôt des particules par capture aérodynamique. Le type de couverture du sol influence la quantité de polluants éliminés par dépôt sec. Pour les particules, le revêtement joue un rôle important (érosion des sols, remise en suspension des particules déposées, ...). (Diaf, N et al, 2003).

I.8. Niveaux de PM10 observés dans le monde

Les concentrations moyennes annuelles de PM10 dans diverses régions du Maghreb sont reprises au tableau suivant.

Tableau 2. Les concentrations moyennes annuelles de PM10 dans diverses régions du Maghreb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ville	Références	PM10
Sousse	Bouchlaghem and Blaise (2012)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Bizerte	Bouchlaghem and Blaise (2012)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sfax (zone industrielle)	Bouchlaghem and Blaise (2012)	89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sfax (centre ville)	Bouchlaghem and Blaise (2012)	87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tunis	Bouchlaghem and Blaise (2012)	90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Le Caire	Petkova et al. (2013)	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Alger	Laid et al. (2006)	61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Constantine	(Terrouche et al., 2014).	49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

La valeur annuelle réglementaire que stipule l’OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) n’est respectée dans aucune des ville citées dans le tableau, pire elle est même multipliée par plus de 7 fois, dans la mégapole égyptienne, mondialement connue pour ses bouchons interminables.

I.9. La pollution métallique

I.9.1. Généralités

Les métaux sont les éléments du tableau de classification périodique situés à gauche de la diagonale définie par le bore, le silicium, le germanium, l’antimoine, et le polonium, à l’exception de l’hydrogène

Tableau périodique des éléments

																		18 (VIIIa)
1 (Ia)																	18 (VIIIa)	
1 H	2 (IIa)											13 (IIIa)	14 (IVa)	15 (Va)	16 (VIa)	17 (VIIa)	18 (VIIIa)	
6,94 Li	9,01 Be											10,81 B	12,01 C	14,01 N	16,00 O	19,00 F	20,18 Ne	
3 Na	4 Mg	3 (IIIb)	4 (IVb)	5 (Vb)	6 (VIb)	7 (VIIb)	8 (VIIIb)	9 (VIIIb)	10 (VIIIb)	11 (Ib)	12 (IIb)	13 (IIIa)	14 (IVa)	15 (Va)	16 (VIa)	17 (VIIa)	18 (VIIIa)	
22,99 Na	24,31 Mg	44,96 Sc	47,88 Ti	50,94 V	52,00 Cr	54,94 Mn	55,85 Fe	58,93 Co	58,69 Ni	63,55 Cu	65,39 Zn	69,72 Ga	72,61 Ge	74,92 As	78,96 Se	79,90 Br	83,80 Kr	
39,10 K	40,08 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
85,47 Rb	87,62 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc*	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
132,91 Cs	137,33 Ba	57-70 Lu	71 Hf	72 Ta	73 W	74 Re	75 Os	76 Ir	77 Pt	78 Au	79 Hg	80 Tl	81 Pb	82 Bi	83 Po*	84 At*	85 Rn*	
87 Fr*	88 Ra*	89-102 Lr*	103 Rf*	104 Db*	105 Sg*	106 Bh*	107 Hs*	108 Mt*	109 Uun*	110 Uuu*	111 Uuu*	112 Uub*						
138,92 La	140,12 Ce	140,91 Pr	144,24 Nd	Pm*	150,36 Sm	151,97 Eu	157,25 Gd	158,93 Tb	162,50 Dy	164,93 Ho	167,26 Er	168,93 Tm	173,04 Yb					
57 Ac*	232,04 Th	231,04 Pa	238,03 U	Np*	Pu*	Am*	Cm*	Bk*	Cf*	Es*	Fm*	Md*	No*					
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102					

* : Éléments n'ayant pas de nucléide (isotope) de durée de vie suffisamment longue et n'ayant donc pas une composition terrestre caractéristique.

Figure 2. Tableau périodique des éléments

Ils ont en commun les propriétés suivantes :

- Structure cristalline à température ambiante, à l'exception du mercure qui est liquide.
- Aspect brillant.
- Ductilité, malléabilité.
- Électrons de conduction faiblement liés, d'où une propension à former des cations et des liaisons ioniques.
- Bonne, voire excellente conductivité thermique et électrique.

Les métaux sont présents naturellement dans notre environnement, surtout dans la croûte terrestre où ils contribuent à l'équilibre de la planète. Cependant, par l'intervention humaine, les métaux sont répartis, concentrés et modifiés chimiquement, ce qui peut augmenter leur toxicité. Par le biais d'activités minières, industrielles et agricoles, mais aussi de la chasse, et de nombreux produits de consommation qui terminent comme déchets, l'air, l'eau, le sol, les micro-organismes, les plantes, les animaux et, finalement, les êtres humains sont pollués et intoxiqués par les métaux lourds.

Parmi ces éléments, ceux que l'on désigne sous le terme de métaux lourds sont ceux dont la masse volumique est supérieure à 5-6 g/cm³. Nous parlerons indifféremment de métaux lourds, de métaux traces ou d'éléments traces métalliques. (Sirven. 2006).

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.dangersanté.org>).

I.9.2. 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).

I.9.3. Caractéristiques des métaux étudiés

I.9.3.1. Le cadmium

Le Cd appartient au groupe II B de la classification périodique des éléments. Il s'agit d'un élément relativement rare dans la croûte terrestre (0.2 mg/kg). L'état d'oxydation le plus fréquent est l'ion Cd^{2+} dans l'environnement. Facilement volatile, il peut réagir avec les gaz tels que l'oxygène, le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau, le dioxyde et trioxyde de soufre et l'acide chlorhydrique pour former des oxydes de cadmium (CdO), des carbonates ($CdCO_3$), des hydroxydes ($Cd(OH)_2$), des sulfures (CdS) et des chlorures ($CdCl_2$). Le Cd est très facilement assimilé par les plantes. Il est considéré comme le métal du XXe siècle car 65 %

de la production mondiale ont été réalisés lors de ces quelques dernières dizaines d'années .
(Sammut, 2008).

I.9.3.2. Le magnésium

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments naturels les plus abondants. Il constitue 2,5 pour cent de la croûte terrestre et forme généralement des minéraux comme la giobertite ("magnésite"), la dolomie, l'olivine, la serpentine, le talc et l'amiante. Toutes les eaux naturelles en contiennent et il contribue largement à leur dureté. Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires.

Plus de 55% du magnésium utilisé sert pour la fabrication d'alliages d'aluminium. Ceux-ci servent à la fabrication de cannettes, de pièces moulées sous pression, de matériel électrique, d'outils portatifs, d'équipement de sport et de nombreux autres produits. Le magnésium est aussi employé comme désoxydant et désulfurant dans l'industrie sidérurgique, et comme réducteur pour la fabrication du titane, du zirconium et de divers autres métaux réactifs. Le métal à l'état pur sert à protéger les ossatures d'acier contre la corrosion, et on l'utilise de multiples façons dans l'industrie chimique, notamment pour la fabrication des organomagnésiens de Grignard (www.sc-hc.gc.ca).

I.9.3.3. Le calcium

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. Il s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. La concentration moyenne du calcium dans le sol est d'environ $1,37 \times 10^4$ mg/kg. On a constaté que la lixiviation du calcium à partir du sol augmentait nettement avec l'acidité de l'eau de pluie.

L'oxyde de calcium (chaux) est abondamment utilisé dans l'industrie du bâtiment pour la préparation du mortier, du stuc et du plâtre. Il est utilisé dans la production des pâtes et papiers, pour le raffinage du sucre, pour le raffinage du pétrole et pour le tannage. L'usage de la chaux pour le traitement chimique des eaux usées est aussi largement répandu.

La concentration dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium. Le calcium est un élément chimique très abondant dans toute la nature.

Au niveau de notre organisme, il est présent dans le sang (calcémie normale : 2,1 à 2,6 mmol / litre ou 4,2 à 5,2 mEq / litre ou 85 à 105 mg/ litre), entre dans la constitution osseuse, et permet également, le fonctionnement normal des cellules nerveuses et musculaires. (www.sc-hc.gc.ca).

I.9.3.4. Le sodium

C'est un métal mou et argenté, qui appartient aux métaux alcalins. On ne le trouve pas à l'état de corps pur dans la nature, mais il est particulièrement abondant sous forme de composés, par exemple dans le sel. Il brûle avec une flamme jaune (<http://www.chimie-analytique.wikibis.com/sodium.php>). Ce métal alcalin se présente fréquemment sous forme ionisée. On observe que, dans les milieux biologiques et même dans les solides tels que le chlorure de sodium, le métal garde l'état ionisé. (www.sc-hc.gc.ca).

Le sodium réagit rapidement avec l'eau et la glace, pour produire de l'hydroxyde de sodium et de l'hydrogène. Quand il est exposé à l'air, le sodium métallique perd son aspect argenté et acquiert une couleur grise opaque due à la formation d'un enduit d'oxyde de sodium.

I.9.3.5. Le fer

En abondance, le fer est le quatrième élément dans l'écorce terrestre et le premier parmi les métaux lourds. On le trouve surtout sous forme de Fe (II) ou de Fe (III) ,(www.sc-hc.gc.ca).

C'est le métal et le matériau ferromagnétique le plus courant dans la vie quotidienne, sous forme pure ou d'alliages. Le fer pur est un métal de transition ductile, mais l'adjonction de très faibles quantités d'éléments d'additions modifie considérablement ses propriétés mécaniques. Allié au carbone et avec d'autres éléments d'additions il forme les aciers, dont la sensibilité aux traitements thermomécaniques permet de diversifier encore plus les propriétés du matériau.

À l'air libre en présence d'humidité, il se corrode en formant de la rouille, constituée d'oxydes et d'oxyhydroxydes ferriques hydratés, qu'on peut écrire $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ et $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ respectivement. La rouille étant un matériau poreux, la réaction d'oxydation peut se propager jusqu'au cœur du métal, contrairement, par exemple, à l'aluminium, qui forme une couche fine d'oxyde imperméable.(www.wikipedia.com) .

II. MATERIEL ET METHODES

II.1. Prélèvement des poussières

Un préleveur de poussières fines à faible débit (5 l/min) de marque TAS fabriqué par la société Airmetrics a été utilisé pour le prélèvement des PM₁₀ sur un site trafic. Les filtres utilisés sont en fibre de quartz. Ils sont circulaires et leur diamètre est de 47 mm. Les prélèvements sont effectués une fois tous les trois jours.

Un autre préleveur à grand débit (High Volume Sampler) a été utilisé pour prélever les PM₁₀ sur un site en fond urbain. Les filtres utilisés sont en fibre de quartz et possèdent les dimensions suivantes : 20 cm x 25 cm. Les filtres sont renouvelés tous les six jours.

La durée de prélèvement est de 24 h dans tous les cas. Les prélèvements débutent à minuit. Tous les filtres sont soumis à une dessiccation avant et après chaque prélèvement.

II.2. Choix du site de prélèvement

Nous avons choisi le campus universitaire « Zouaghi Slimane » comme zone d'étude où nous avons installé deux collecteurs de PM₁₀ (Fig. 3). Un collecteur est directement exposé au trafic routier en bordure de la route nationale n° 79 à la sortie sud de la ville. Cette route connaît une forte circulation automobile car elle relie la ville de Constantine à des villes voisines comme Batna et Biskra. Le deuxième collecteur est installé à 200 m de la RN79 à l'intérieur du campus de la Faculté des Sciences de la Terre et fait office de site de mesure en fond urbain. On admet qu'une distance de 200 m loin des routes de circulation confère au site concerné la qualité d'un site urbain.

Le parc automobile de la wilaya de Constantine en 2015 est estimé à 450000 véhicules, ce chiffre est en augmentation continue chaque année. D'après les données de la wilaya, l'hôtel des travaux publics et l'OMS de Constantine, en moyenne, près de 80000 véhicules empruntent chaque jour la RN79 à proximité de notre site de prélèvement.



Figure 3. Zone d'étude et positions des deux préleveurs

II.3. Minéralisation des poussières

La méthode de minéralisation utilisée est celle de Pena-Icart (2011). Une quantité d'environ 0,25 g de l'échantillon est pesée dans un bécher de 250 ml. On ajoute 10 ml d'une solution (3 :1) du mélange (HCl 12M et HNO₃ 17M) et on laisse pendant 24 h. On chauffe ensuite sur plaque chauffante à 130°C pendant 15 min dans un bécher non couvert. Finalement, on filtre à l'aide de filtres en fibres de quartz, et on complète le volume à 100 ml avec HNO₃ 0,17 %.

II.4. Analyse des éléments métalliques

Les solutions obtenues après la minéralisation des poussières ont été analysées par un spectromètre d'absorption métallique à flamme de marque Shimadzu, modèle AA-7000 pour doser les éléments suivants : Ca, Mg, Na et Fe. Le cadmium a été analysé par un spectromètre d'absorption métallique à four de marque (FAAS Perkin Elmer A.Analyst 300) au niveau du Laboratoire de Biologie et Environnement.

II.5. Données météorologiques

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, humidité relative, pression atmosphérique, vitesse et direction du vent et niveau des précipitations). Le WMR928N offre les options suivantes : (horloge calendrier radio pilotée avec alarme quotidienne, prévision météo dans un rayon de 32 à 48 km, alarmes météo, mémoire de relevés maximum et minimum, écran tactile simple, port de connexion (RS232) et rétro-éclairage).

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Analyse des données

Dix paires d'échantillons de PM₁₀/PM_{2.5} ont été obtenues au terme de la série de prélèvements. Les éléments analysés sont le cadmium, le fer, le magnésium, le calcium et le sodium. Afin d'interpréter la variabilité journalière des PM₁₀ et PM_{2.5}, les outils météorologiques et cartes d'aérosols suivants ont été analysés : rétrotrajectoires HYSPLIT (Draxler, 2011), cartes de concentrations de poussières BSC/DREAM (Barcelona Supercomputing Center-Dust REgional Atmospheric Model) et NRL-NAAPS (Naval Research Laboratory-Navy Aerosol Analysis and Prediction System).

Plusieurs études ont montré l'intérêt d'utiliser des rétrotrajectoires pour « remonter » aux causes d'un événement de pollution (Zeng and Hopke, 1994). Cette approche simplifiée du phénomène associe à un événement de pollution le trajet modélisé de la masse d'air arrivant sur le site. L'analyse de ces informations a permis dans de nombreux cas d'identifier l'origine des composés et d'établir des liens entre les émissions et les observations réalisées sur un site récepteur.

Les rétrotrajectoires comportent une erreur comprise entre 15 et 20%. Elles peuvent par contre être scindées en regroupements aussi distincts et homogènes les uns des autres pour produire des « clusters » qui peuvent être représentés par des rétrotrajectoires moyennes.

La fréquence des vents pour 12 directions est donnée dans la figure 4. La figure 5 reprend la distribution des fréquences de vent autour du site de mesure des poussières fines. On constate que les vents dominants sont de Nord-Ouest à Sud-Ouest.

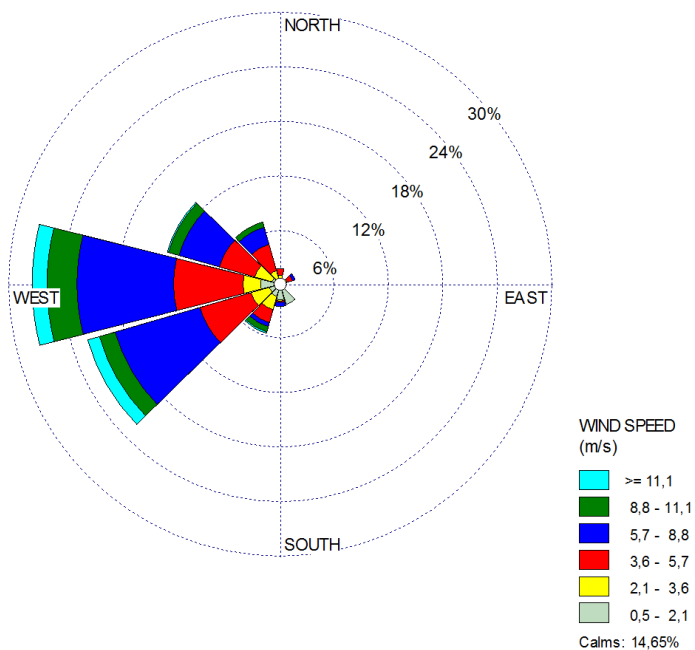


Figure 4. Rose des vents autour du site de mesure durant la campagne de mesure des poussières fines du 18/01/2015 au 14/02/2015

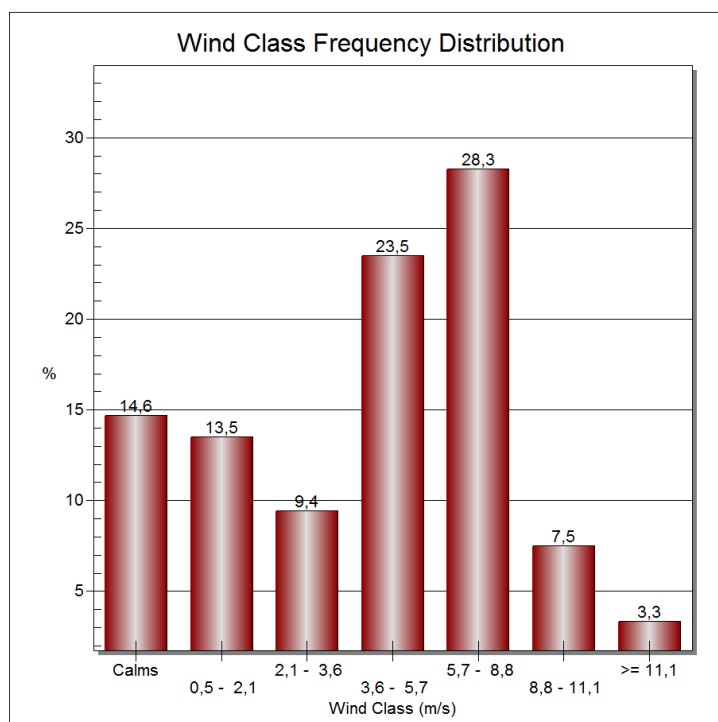


Figure 5. Distribution des fréquences de vent autour du site de mesure des poussières fines

III.2. Niveaux de PM10 et PM2.5

Tableau 3. Concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ (µg/m³) mesurées dans différentes régions du monde

<i>Asie</i>	35-220
Amérique Latine	30-129
Afrique	40-125
Australie/Nouvelle Zélande	28-127
Europe	20-70
Etats-Unis	20-60

Le tableau 3 résume quelques gammes typiques de concentrations moyennes de PM₁₀ rencontrées dans différentes régions du monde (Airparif, 2008).

Tableau 4. Résumé des valeurs statistiques descriptives des poussières

	PM10	PM2.5	PM10-2.5
Moyenne	46,70	25,32	21,38
Maximum	88,47	53,38	53,61
Minimum	13,81	9,62	4,13

Le tableau suivant reprend les concentrations moyennes, maximales et minimales des PM10, PM2.5 et PM10-2.5 observés sur notre site.

III.3. Evolution des concentrations de PM10 et PM2.5

La figure 6 illustre l'évolution temporelle des concentrations simultanées de PM10 et PM2.5 en site trafic.

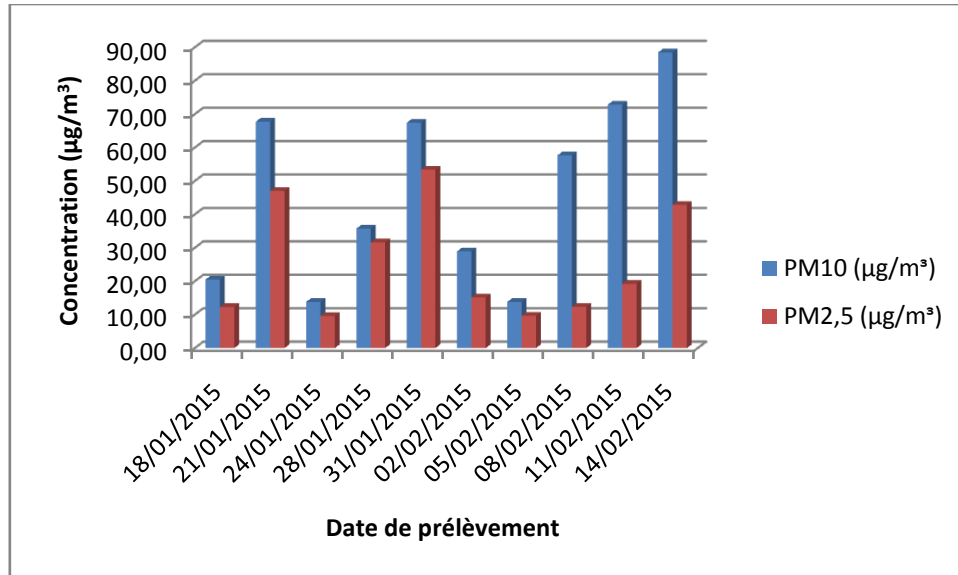


Figure 6. Evolution temporelle des concentrations simultanées de PM10 et PM2.5 en site trafic

Les concentrations moyennes de PM10 et PM2.5 enregistrées du 18/01/2015 au 14/2/2015 sont de 46,70 et 25,32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement. La fraction de PM2.5 dans les PM10 est de 54%. Un peu plus de la moitié des particules sont d'origine anthropique.

La concentration moyenne de PM10 est proche de celle observée durant la campagne de mesures (du 24/3/2010 au 24/5/2010) au niveau de l'EPSP (établissement public de santé de proximité) se trouvant à Daksi est de 49,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cela malgré le fait que le trafic à Zouaghi est nettement plus dense, car empruntant une route nationale, alors que le site de Daksi concerne une route se trouvant dans un tissu urbain où la circulation est moins importante. Cependant, elle est nettement inférieure à la moyenne observée du 23/3/2011 au 22/11/2011 et qui est de 80,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Elle représente, en effet, 58% de la concentration enregistrée par Terrouche et al. (2015) sur le même site d'étude, à savoir, le rond-point de Zouaghi. La période d'étude qui s'est étalée du 18/01/2015 au 14/2/2015 a coïncidé avec la période hivernale qui connaît des taux de précipitations plus importants. En effet, la hauteur des précipitations enregistrée durant la campagne de prélèvements est de 126 mm. Les concentrations moyennes de PM10 et PM2.5 restent, néanmoins, relativement élevées si elles

sont comparées aux valeurs annuelles moyennes recommandées par l’OMS et qui sont de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement. Elles sont, par contre, inférieures à la limite annuelle de poussières fines en vigueur en Algérie et qui vaut $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (décret exécutif n° 06-02 du 7 janvier 2006).

La concentration des PM_{10} varie entre $13,81$ et $88,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig.2). La valeur minimale a été observée en date du 24/01/2015. Cette date a coïncidé avec le week-end. Par contre, la même concentration observée en date du 05/02/2015 a coïncidé avec un jeudi, jour d’activité.

III.4. Fraction grossière $\text{PM}_{10-2,5}$

La taille de ses poussières est comprise entre 10 et $2,5 \mu\text{m}$, on observe une augmentation subite de la fraction grossière des poussières fines lors des trois derniers prélèvements. Cela peut être justifié par l’absence de précipitations durant ces prélèvements.

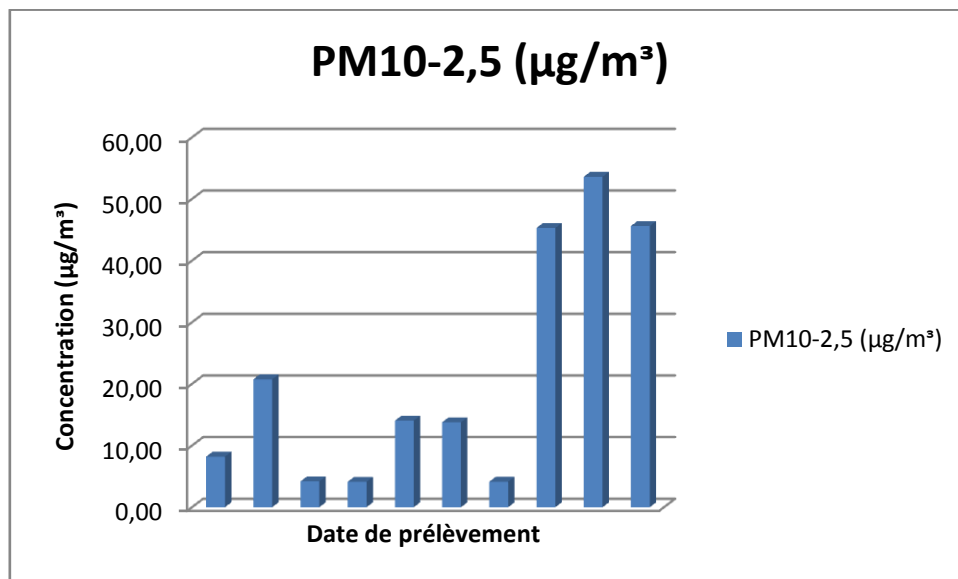


Figure 7. Evolution temporelle de la fraction grossière $\text{PM}_{10-2,5}$ en site trafic

III.5. Evolution des concentrations de PM10 en sites trafic et urbain

La figure 8 illustre l'évolution temporelle des concentrations simultanées de PM10 au niveau des deux sites.

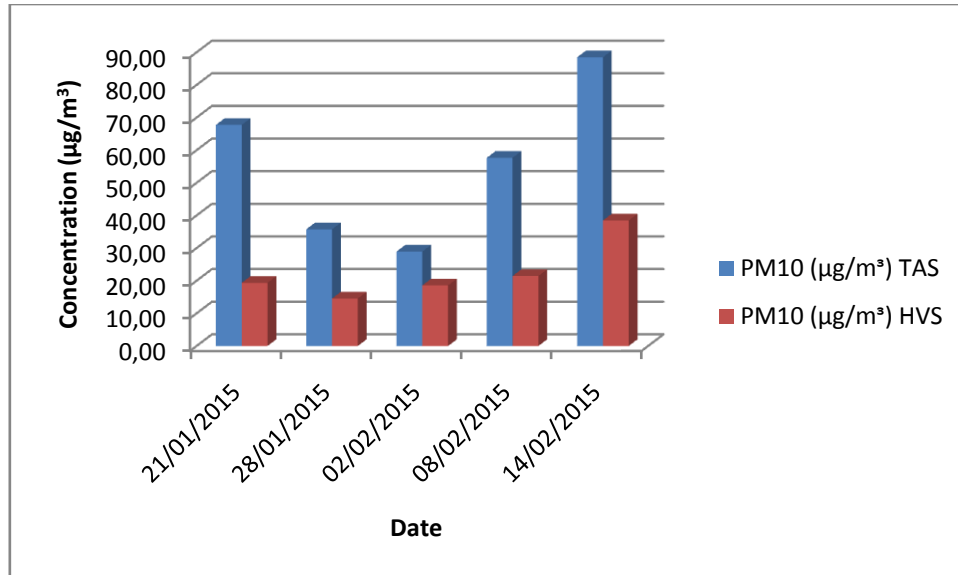


Figure 8. Evolution temporelle des concentrations simultanées de PM10 au niveau des sites trafic et urbain

Les concentrations moyennes de PM₁₀ enregistrées du 18/01/2015 au 14/2/2015 sont de 46,70 µg/m³ et 22,47 µg/m³ sur les sites trafic et urbain respectivement. La concentration moyenne de PM10 à l'intérieur de la Faculté représente 48% de celle représentant les PM10 en site trafic. Ce résultat, tout à fait attendu, signifie que la différence entre les PM10 (site trafic) – PM10 (site urbain) reflète l'apport du trafic routier (52%) aux niveaux mesurés en site trafic.

La concentration moyenne de PM10 en site trafic est proche de celle observée durant la campagne de mesures (du 24/3/2010 au 24/5/2010) au niveau de l'EPSP qui était de 49,08 µg/m³. Cependant, elle est nettement inférieure à la moyenne observée du 23/3/2011 au 22/11/2011 et qui est de 80,42 µg/m³. Elle représente, en effet, 58% de la concentration enregistrée par Terrouche et al. (2015) sur le même site d'étude, à savoir, le rond-point de Zouaghi. La période d'étude qui s'est étalée du 18/01/2015 au 14/2/2015 a coïncidé avec la période hivernale qui connaît des taux de précipitations plus importants. En effet, la hauteur des précipitations enregistrée durant la campagne de prélèvements est de 126 mm. La concentration moyenne de PM10 reste, néanmoins, relativement élevée si elle est comparée à la valeur guide annuelle recommandée par l'OMS et qui est de 20 µg/m³. La moyenne des

PM10 observée sur le site urbain est encore nettement plus élevée et ne représente qu'une situation passagère. Le site urbain fait l'objet d'une campagne de prélèvements devant durer une année. Elles sont, par contre, inférieures à la limite annuelle de poussières fines en vigueur en Algérie et qui vaut $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (décret exécutif n° 06-02 du 7 janvier 2006).

La concentration des PM10 varie entre 13,81 et $88,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le site trafic (Fig.2). La valeur minimale a été observée en date du 24/01/2015. Cette date a coïncidé avec le week-end. De plus, un volume de précipitation correspondant à 2 mm a été enregistré à midi ce jour là. La pluie est responsable du lessivage de l'atmosphère et réduit de façon considérable les niveaux de poussières dans l'air. Par contre, la même concentration observée en date du 05/02/2015 a coïncidé avec un jeudi, jour d'activité. La vitesse moyenne du vent mesurée ce jour était de 8,6 m/s, ce qui représente environ 31 km/h. Cette vitesse relativement élevée provoque la dispersion des poussières en suspension et donc leur diminution. D'autre part, les vents ce jour là étaient orientés vers la direction Est-Nord-Est à Est et n'avaient aucune chance de soulever les poussières du chantier proche qui se trouve au Sud-Est du site de prélèvement. De plus, le campus de Zouaghi est entièrement bitumé et ne favorise pas le soulèvement de poussières en cas de vent important. Enfin, la température journalière moyenne atteinte ce jour du 05/02/2015 était de $3,8 \text{ }^\circ\text{C}$ et n'était pas propice au dessèchement des voies publiques et du sol.

La concentration des PM10 varie entre 14,53 et $38,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'intérieur du campus entre le 21/01/2015 et le 14/02/2015. Sur ce site, la concentration minimale a été observée le 28/01/2015. Une quantité de 0,25 mm de pluie enregistrée à 12 h00 a suffi à réduire sensiblement le niveau de poussières. La concentration maximale de $38,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ coïncide avec le niveau maximum observé le même jour au niveau du site trafic. Les sources potentielles ayant contribué à ces niveaux restent inconnues.

III.6. Détection des sources d'aérosols

III.6.1. Effet des vents de sable et des sulfates

La contribution moyenne des vents de sable aux PM10 a été estimée à partir des cartes de concentration de poussières BSC-DREAM (<http://www.bsc.es/earth-sciences/mineral-dust-forecast-system/bsc-dream8b-forecast/north-africa-europe-and-middle-ea-0>).

Cette contribution s'élève entre 1,75 et 3,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant la période d'échantillonnage des PM10 qui s'étend du 18/01/2015 au 14/02/2015. Elle représente entre 3,75% et 7,50% des poussières mesurées. La contribution quotidienne des poussières sahariennes a eu lieu le 21/01/2015 et le 31/01/2015. Elle varie entre 7,5 et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig. 9). Il faut noter que ces vents de sable n'ont pas été perceptibles durant cette période. Il est fort possible que leur contribution soit nettement plus importante durant les épisodes aigus observés durant les autres périodes de l'année (mai-octobre).

Les concentrations les plus élevées de PM10 et PM2,5 ont été enregistrées en date du 21/01/2015, 31/01/2015, 08/02/2015, 11/02/2015 et du 14/02/2015. Les deux premières concentrations sont légèrement affectées par les vents de sable ayant sévi durant les jours de prélèvement considérés. Selon le site de BSC/DREAM (Barcelona Supercomputing Center-Dust REgional Atmospheric Model), les vents de sable ont contribué à hauteur des gammes 7,5-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement, ce qui représente des taux de contribution de 11-22% et 15-30 % respectivement.

La contribution moyenne des sulfates aux PM10 a été estimée à partir des cartes de concentrations d'aérosols NRL-NAAPS (<http://www.nrlmry.navy.mil/aerosol/>). Elle varie de 0,575 à 1,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant la période d'échantillonnage des PM10 qui s'étend du 18/01/2015 au 14/02/2015. Elle représente entre 1,23% et 2,46% des poussières mesurées. La contribution quotidienne des sulfates qui sont dus à l'oxydation du SO_2 en acide sulfurique a eu lieu pendant cinq journées, ce qui représente 50% de la période d'échantillonnage. La contribution totale des aérosols d'origine naturelle (aérosols désertiques et sulfates) varie entre 2,32 et 4,65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui représente un pourcentage global de 5 à 10% (tableaux 5 et 6; Fig. 10). Il faut noter l'absence totale de feux de biomasse pendant cette même période selon le site de NRL-NAAPS. Il en découle que la concentration de PM10 d'origine anthropique varie entre 44,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 42,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La valeur journalière recommandée par l’OMS est de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10. Elle a été dépassée lors des prélèvements 2, 5, 8, 9 et 10, c’est-à-dire à hauteur de 50% du temps (Tableau 1).

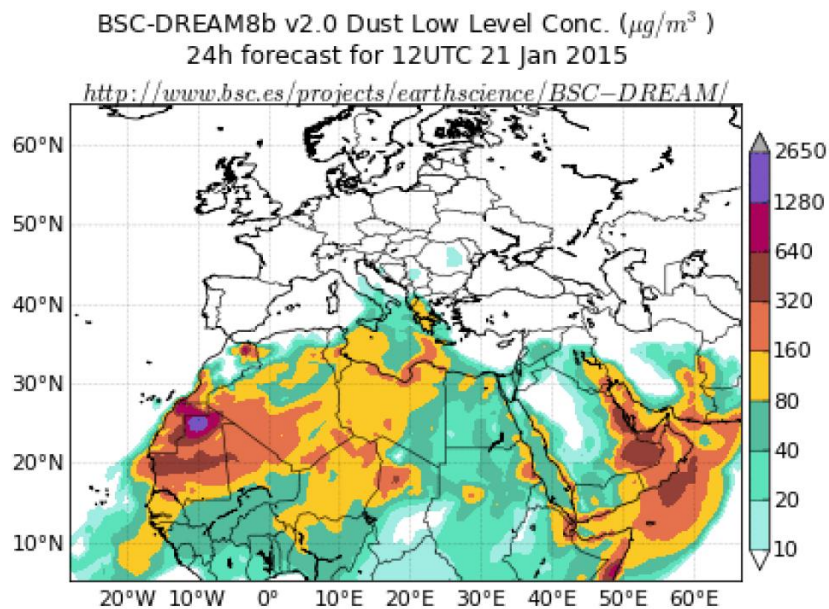


Figure 9. Carte des aérosols désertiques comprenant la région de Constantine (BSC-DREAM)

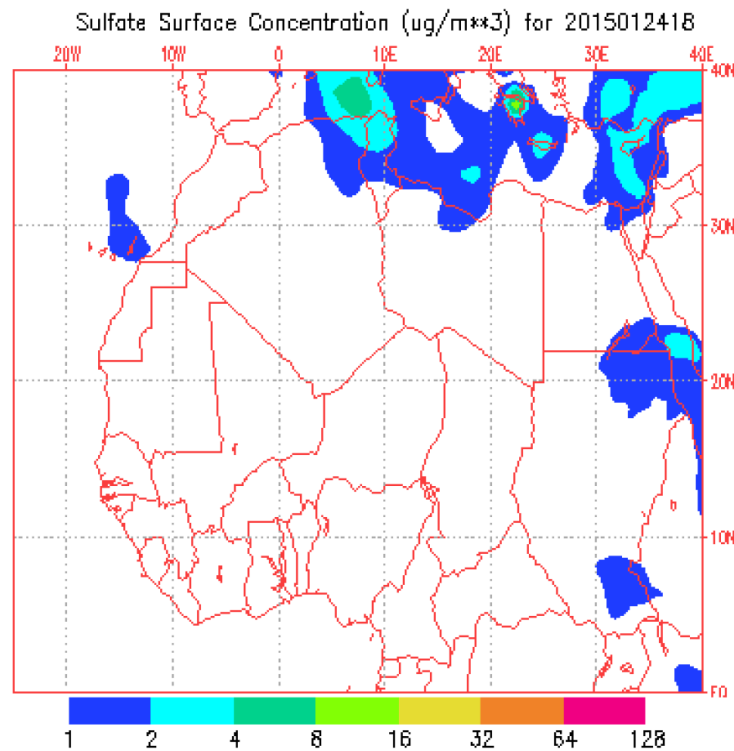


Figure 10. Carte des aérosols de sulfates comprenant la région de Constantine (NRL-NAAPS)

Tableau 5. Contribution des vents de sable aux niveaux de poussières mesurés ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (BSC-DREAM)

N°	date	Tranche horaire					Moy	PM10
		00 :00- 6 :00	06- 12 :00	12 :00- 18 :00	18 :00- 00 :00			
1	18/01/2015	0	0	0	0	0	20,51	
2	21/01/2015	0	0	20-40	10-20	7.5-15	67,76	
3	24/01/2015	0	0	0	0	0	13,81	
4	28/01/2015	0	0	0	0	0	35,76	
5	31/01/2015	20-40	10-20	10-20	0	10-20	67,43	
6	02/02/2015	0	0	0	0	0	28,94	
7	05/02/2015	0	0	0	0	0	13,81	
8	08/02/2015	0	0	0	0	0	57,68	
9	11/02/2015	0	0	0	0	0	72,86	
10	14/02/2015	0	0	0	0	0	88,47	
Moyenne						1,75- 3,5	46,70	

Tableau 6. Contribution des sulfates aux niveaux de poussières mesurés ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (NAAPS : <http://www.nrlmry.navy.mil/aerosol/>)

Date	Tranche horaire					Moy	PM10
	00 :00- 6 :00	06- 12 :00	12 :00- 18 :00	18 :00- 00 :00			
18/01/2015	0	0	0	0		20,51	
21/01/2015	0	0	0	0		67,76	
24/01/2015	1-2	2-4	2-4	2-4	1,75- 3,5	13,81	
28/01/2015	0	0	0	0		35,76	
31/01/2015	0	0	1-2	0		67,43	
02/02/2015	0	0	0	0		28,94	
05/02/2015	0	1-2	2-4	1-2	1-2	13,81	
08/02/2015	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	57,68	
11/02/2015	1-2	1-2	0	0	0,5-1	72,86	
14/02/2015	2-4	2-4	1-2	1-2	1,5-3	88,47	
Moyennes						0,575- 1,15	46,70

III.6.2. Activité volcanique

Une rétro-trajectoire pour un temps maximum de remontée de 6 jours a été calculée en date du 18/01/2015 à 00h00 en utilisant le modèle HYSPLIT (Draxler, 2011) à une altitude de

750 m au dessus du sol. Elle indique que les vents dirigent les nuages de cendres du volcan islandais Bardarbunga vers le site de mesure de PM10 (Fig. 11).

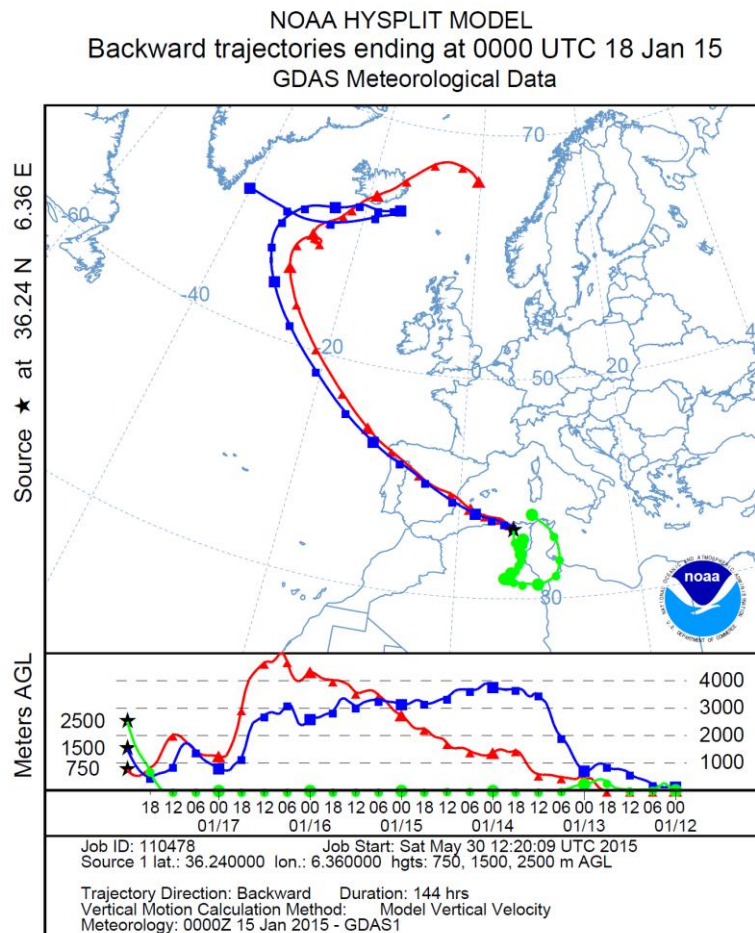


Figure 11. Rétrotrajectoire développée le 18/01/2015 à 00 h à une altitude de 750 m au dessus du site de mesure des PM₁₀ pour un temps de remontée de 6 jours

III.63. Identification des sources lointaines à l'aide des clusters

La figure 12 représente les rétrotrajectoires moyennes des clusters modélisés par Hysplit pour un temps de remontée de 03 jours. Trois rétrotrajectoires moyennes représentant 60 trajets modélisés des parcelles arrivant sur le site de mesure ont été identifiées. Le trajet dominant de ces dernières traverse une partie de l'Europe occidentale et la mer méditerranée. Il représente 70% des rétrotrajectoires modélisées. Le deuxième trajet le plus représentatif (20%) provient de la région proche de l'Islande et pourrait même inclure ce pays et ses zones volcaniques. Le troisième trajet provient de l'océan atlantique et représente 10% des rétrotrajectoires.

Le tableau 7 représente le pourcentage de contribution des différents clusters aux paramètres de la qualité de l'air mesurés ainsi que les moyennes des paramètres météorologiques pertinents. On constate que le cluster 1 contribue entre 60,45% à 95,28% aux niveaux de concentration des paramètres de pollution mesurés. La contribution maximale de ce cluster concerne le Ca. La contribution minimale concerne les PM10. Cela reflète la présence prédominante des polluants mesurés sur ce trajet. D'autre part, on remarque que le vent moyen correspondant aux trajets modélisés dans ce cluster est relativement faible (3,7 m/s) ce qui tout à fait logique car les vents faibles favorisent l'accumulation des polluants atmosphériques.

Une vitesse de vent élevée a tendance à provoquer une dispersion des polluants et donc la diminution de leurs concentrations. C'est le cas du cluster 3 auquel correspond une vitesse moyenne de vent de 9,8 m/s. En ce qui concerne les précipitations, il est paradoxal que les niveaux de pollution sont inversement proportionnels aux volumes d'eau enregistrés. L'explication de cette singularité provient du fait que les précipitations ont été enregistrées majoritairement entre minuit et une heure du matin et leur évaporation survient généralement au petit matin.

Tableau 7. Pourcentages de contribution de chacun des clusters aux paramètres de la qualité de l'air et données météorologiques correspondantes moyennes

Cluster	PM10 (%)	PM2,5 (%)	Cd PM10 (%)	Cd PM2,5 (%)	Fe PM10 (%)	Fe PM2,5 (%)	Mg PM10 (%)	Mg PM2,5 (%)	Ca PM10 (%)	Ca PM2,5 (%)	Na PM10 (%)	Na PM2,5 (%)	Vit de vent (m/s)	T _P (°C)	Précip. (mm)
1	63,6	60,5	86,3	66,7	60,6	78,3	70,6	61,9	95,3	89,0	81,0	75,5	3,7	5,2	21
2	17,5	18,5	9,1	20,5	6,0	8,7	21,2	24,5	4,7	11,0	16,1	16,9	6,6	5,1	2,8
3	18,9	21,1	4,6	12,9	33,5	13,0	8,2	13,6	0,0	0,0	2,9	7,5	9,8	11,1	0,0

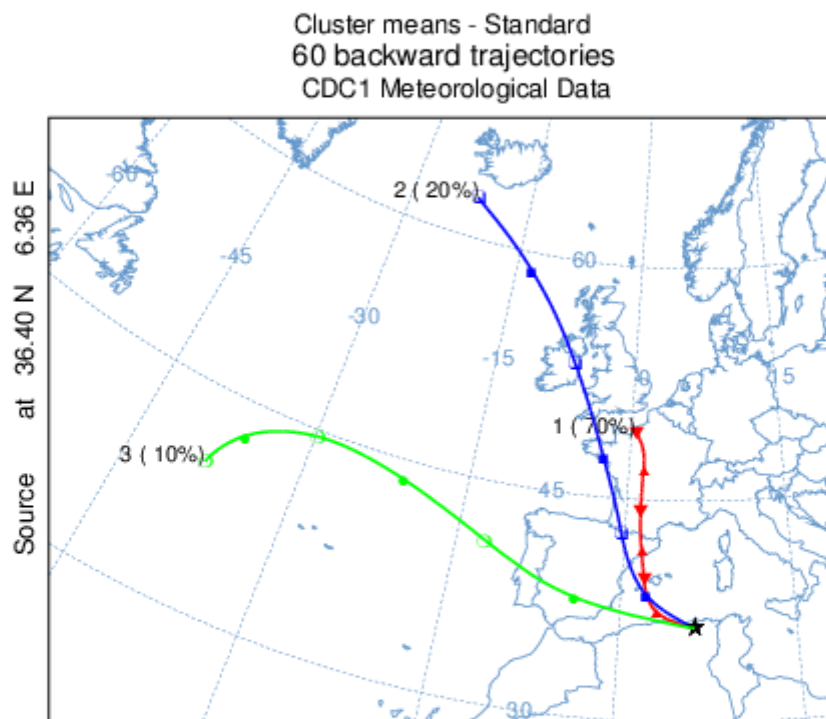


Figure 12. Rétrotrajectoires moyennes parvenant au site entre le 18/01/2015 et le 14/02/2015 avec un temps de remontée de 03 jours

III.7. Corrélation avec les paramètres météorologiques

Le tableau suivant résume les corrélations entre les teneurs de différentes granulométries de poussières et les paramètres météorologiques. Les seules corrélations d'intérêt sont celles existant entre les PM₁₀ et les PM_{2.5} avec la température les précipitations et entre les PM_{10-2.5} et la vitesse du vent. En effet, la température entraîne l'assèchement du sol et la dispersion de poussières en cas de vent. Les teneurs de PM₁₀ et PM_{2.5} ont tendance à augmenter lorsque la température s'accroît.

Tableau 8. Corrélations entre les teneurs de PM₁₀ et les paramètres météorologiques.

Paramètre (moyennes journalières)	Vitesse du vent moyenne	Température moyenne	Précipitations (mm)
PM ₁₀	-0.31	0.75	-0.057
PM _{2.5}	0.20	0.86	-0.08
PM _{10-2.5}	-0.61	0.30	-0.011

III.8. Evolution des concentrations des éléments métalliques

III.8.1. Résumé de l'analyse des données

Le tableau suivant résume les données statistiques des concentrations d'éléments métalliques analysés.

Tableau 9. Données statistiques des concentrations d'éléments métalliques

	Cd (ng/m ³)		Mg (µg/m ³)		Fe (µg/m ³)		Ca (µg/m ³)		Na (µg/m ³)	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}
Moyenne	0,81	0,53	1,82	1,09	1,78	0,82	50,82	21,80	17,52	6,77
Maximum	2,42	0,69	4,00	2,85	5,95	2,93	198,81	107,91	73,32	18,09
Minimum	0,26	0,28	0,00	0,00	0,10	0,08	0,00	0,00	0,89	0,89
SD	0,84	0,60	1,26	0,91	1,76	0,81	71,04	35,27	23,30	5,35
PM _{2.5} /PM ₁₀	65,35%		60,21%		45,96%		43%		38,65%	

III.8.2. Corrélations impliquant les PM10 et les éléments métalliques

Le tableau suivant résume les corrélations entre les teneurs de poussières et des éléments métalliques.

Tableau 10. Corrélations entre les teneurs de poussières et des éléments métalliques

Paramètres	Coefficients de corrélation					
	PM ₁₀	Cd	Mg	Fe	Ca	Na
PM ₁₀	-	-0,12	0,47	0,45	0,34	0,33
Cd	-0,12	-	-0,75	0,2	-0,43	0,47
Mg	0,47	-0,75	-	-0,16	0,81	-0,37
Fe	0,45	0,2	-0,16	-	-0,14	-0,08
Ca	0,34	-0,43	0,81	-0,14	-	-0,36
Na	0,33	0,47	-0,37	-0,08	-0,36	-

D'après ce tableau, les PM10, le Mg et le Fe sont assez bien corrélés, et ce à juste titre, car ces éléments métalliques sont d'origine essentiellement terrigène. Le Ca et le Mg sont très bien corrélés (0,81) reflétant leur origine marine. Le Na semble avoir une origine partiellement anthropique, étant donné qu'il est légèrement corrélé au Cd.

III.8.3. Corrélations impliquant les PM_{2,5} et les éléments métalliques

Le tableau suivant résume les corrélations entre les teneurs de PM2.5 et des éléments métalliques.

Tableau 11. Corrélations entre les teneurs de poussières et des éléments métalliques

Paramètres	Coefficients de corrélation					
	PM _{2,5}	Cd	Mg	Fe	Ca	Na
PM _{2,5}	-	-0,18	-0,34	0,49	-0,56	-0,21
Cd	-0,18	-	0,02	-0,67	0,14	0,12
Mg	-0,34	0,02	-	-0,18	0,77	-0,20
Fe	0,49	-0,67	-0,18	-	-0,16	-0,39
Ca	-0,56	0,14	0,77	-0,16	-	-0,32
Na	-0,21	0,12	-0,20	-0,39	-0,32	-

D'après ce tableau, les PM2.5 et le Fe sont assez bien corrélés reflétant la présence de Fe aussi bien dans les PM10 que dans les PM2.5. La corrélation négative entre les PM2.5 et le Ca (-0,56) indique que cet élément alcalin est majoritairement concentré dans la fraction grossière ; d'ailleurs, le ratio des concentrations de Ca entre les PM2.5 et les PM10 est de 0,43. La très bonne corrélation entre le Ca et le Mg (0,77) reflète leur origine marine commune. La corrélation négative entre le Fe et le Cd (-0,67). Cela s'explique naturellement par le fait que le Fe est un élément terrigène alors que le Cd est d'origine majoritairement anthropique, le ratio des concentrations de Cd entre les PM2.5 et les PM10 étant de 65%.

III.8.3.1. Le cadmium

La concentration de cadmium enregistrée pendant la période d'étude dans les PM10 est de 0,81 ng/m³ (Fig. 13). Cette valeur est négligeable par rapport, non seulement à la norme édictée par l'OMS qui est de 5 ng/m³, mais elle est également très faible par rapport à celle enregistrée du 25/05/2010 au 19/10/2010 au niveau de l'EPSP Mentouri de la cité Daksi et qui vaut 20 ng/m³ (Bencharif-Madani, 2012) et à celle rapportée par Ali-Khodja et al. (2008) au niveau de l'APC de Didouche Mourad du 2 Novembre 2002 au 28 Avril 2003 et qui est de 5 ng/m³. Le cadmium n'est pas considéré comme traceur de la pollution liée au trafic urbain. Le cadmium provient de l'industrie de la céramique et des déchets miniers et industriels. La proportion de cadmium dans la fraction fine est de 60%, reflétant son origine plutôt anthropique.

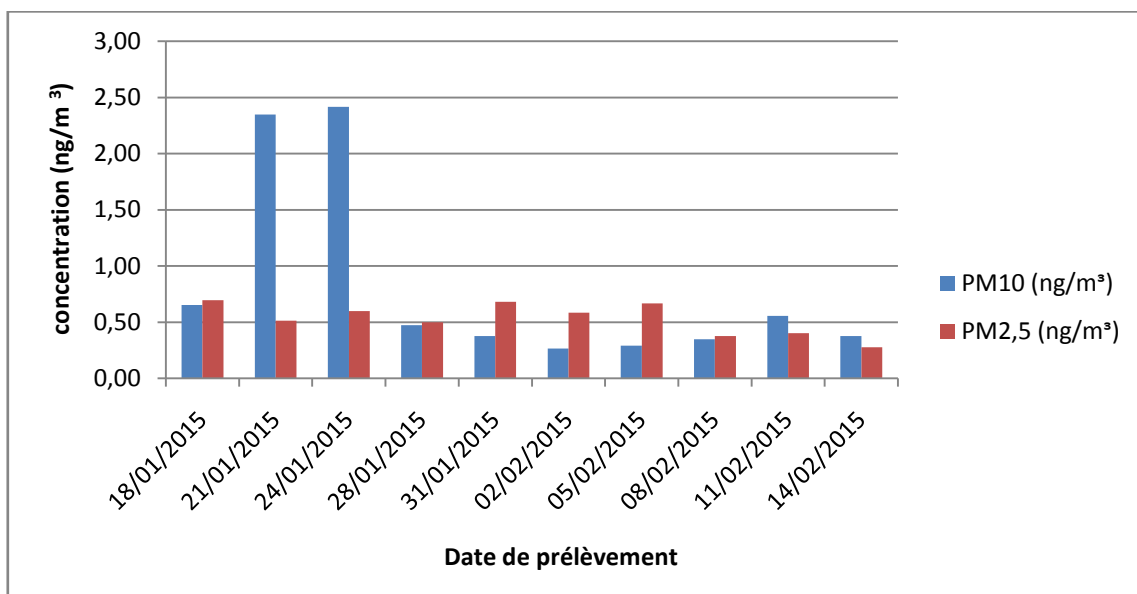


Figure 13. Evolution temporelle des concentrations de cadmium

III.8.3.2. Le calcium

La concentration de calcium enregistrée pendant la période d'étude dans les PM10 est de $50,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig. 14). Cette valeur est largement supérieure à celle enregistrée au niveau du rond-point de Zouaghi entre 23/03/2011 au 22/11/2011 dans les PM10 et qui est de $3,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La proportion de calcium dans la fraction fine est de 42,9%, reflétant son origine plutôt naturelle.

On le trouve dans la fabrication du ciment et la production d'énergie. Il est fortement corrélé avec le magnésium (0,81) et dans une moindre mesure avec les PM10 (0,34) (tableau 8). Le Mg et le Cd ont des origines complètement différentes (-0,75), l'un étant d'origine crustale et marine, l'autre d'origine anthropique.

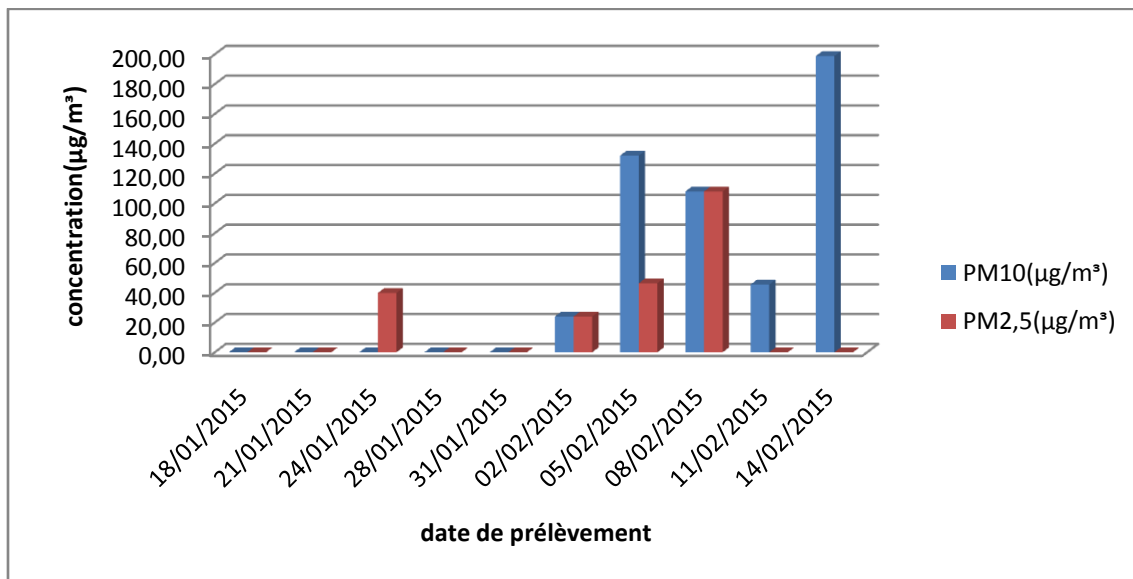


Figure 14. Evolution temporelle des concentrations du calcium

III.8.3.3. Le magnésium

La concentration de magnésium enregistrée pendant la période d'étude (18/01/2015 au 14/02/2015) dans les PM10 est de $1,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig. 15). Elle est presque identique à la concentration de magnésium enregistrée entre le 23/03/2011 au 22/11/2011 dans les PM10 de $1,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au niveau du rond-point de Zouaghi (Terrouche et al., 2015). Le magnésium provient de l'usure des roches et des sols (Deletraz et Paul, 1998) et le vent de sable serait à

l'origine de ce pic de magnésium. La proportion de magnésium dans la fraction fine est de 60%, reflétant son origine plutôt anthropique.

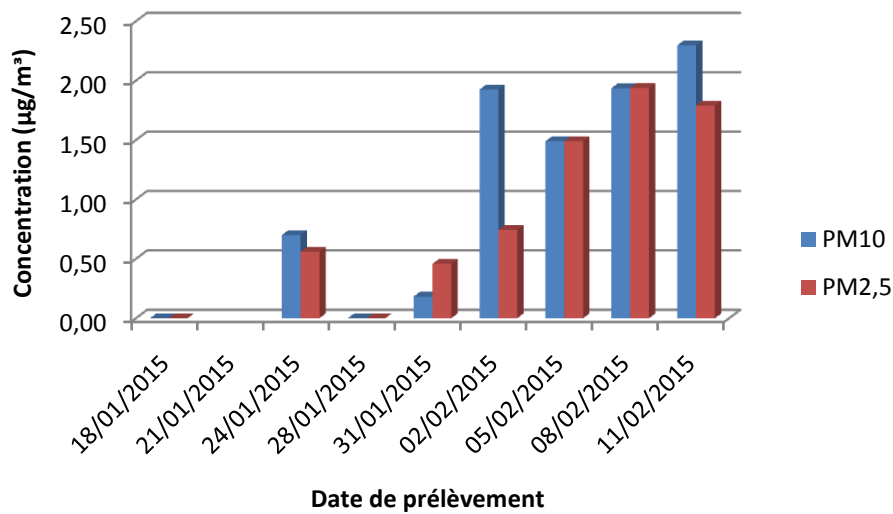


Figure 15. Evolution temporelle des concentrations de magnésium

III.8.3.4. Le sodium

La concentration de sodium enregistrée pendant la période d'étude (18/01/2015 au 14/02/2015) dans les PM10 est de 17,52 µg/m³ (Fig. 16). Elle est supérieure à la concentration de sodium enregistrée entre le 23/03/2011 au 22/11/2011 dans les PM10 dont la valeur était de 5,61 µg/m³ au niveau du rond-point de Zouaghi (Terrouche et al., 2015).

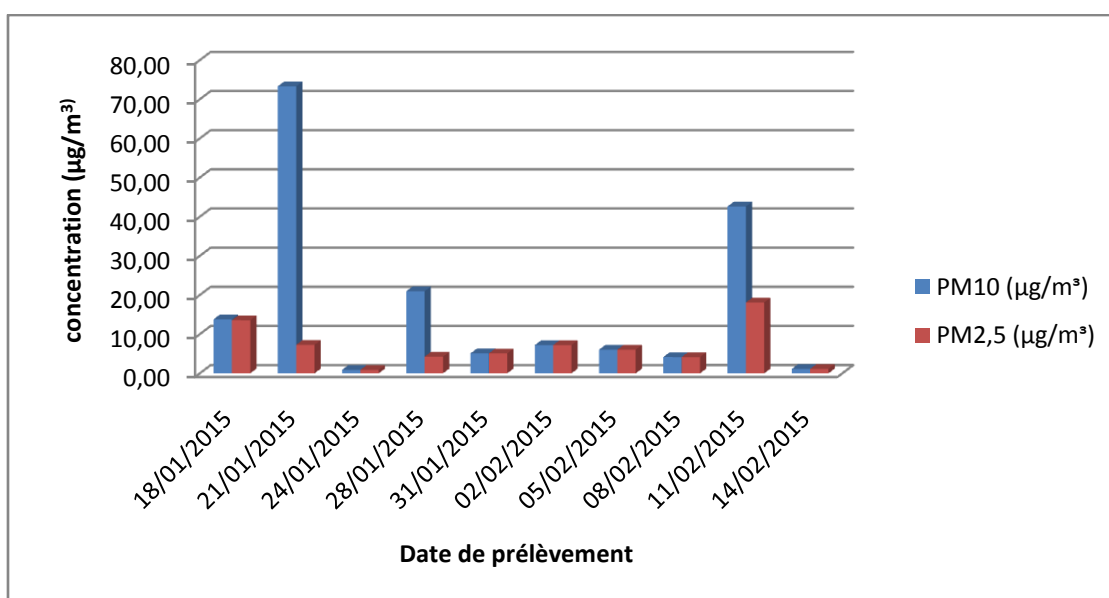


Figure 16. Evolution temporelle des concentrations de sodium

III.8.3.5. Le fer

La concentration de fer enregistrée pendant la période d'étude (18/01/2015 au 14/02/2015) dans les PM10 est $1,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig. 17). Elle est environ deux fois inférieure à la concentration enregistrée entre le 23/03/2011 au 22/11/2011 dans les PM10 dont la valeur était de $3,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au niveau du rond-point de Zouaghi (Terrouche et al., 2015). Il est également largement inférieur à celle enregistrée du 25/05/2010 au 19/10/2010 au niveau de l'EPSP Mentouri de la cité Daksi et qui vaut $9,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bencharif-Madani, 2012). Cela peut s'expliquer par le fait que ces deux dernières études ont été réalisées en dehors de la période hivernale, alors que notre étude a coïncidé avec le milieu de cette dernière.

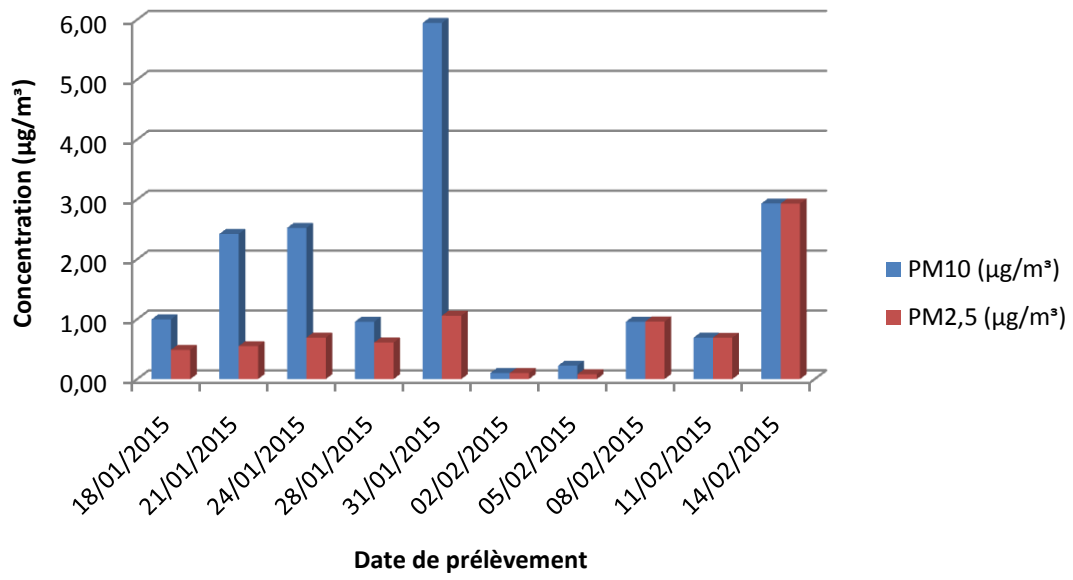


Figure 17. Evolution temporelle des concentrations du fer

Conclusion et perspectives

Ce travail a permis de mesurer simultanément les particules fines dénommées PM_{2.5} et PM₁₀ sur un même site durant une période comprise entre le 18/01/2015 et le 14/02/2015. Les valeurs guides fixées par l'OMS pour 24 heures et qui sont de 50 µg/m³ et 25 µg/m³ pour les PM₁₀ et PM_{2.5} respectivement ont été dépassées pendant 50% et 40% du temps. Les concentrations moyennes observées de 46,7 et 25,3 µg /m³ pour les PM₁₀ et PM_{2.5} dépassent largement les valeurs recommandées par l'OMS pour une année et qui sont de 20 µg /m³ et 10 µg /m³. Ces niveaux sont essentiellement liés au trafic routier caractérisé par un parc de plus en plus conséquent, et qui s'accroît d'une moyenne annuelle de 4%. Les carburants distribués sur le marché national comprennent par ordre de consommation : le gazole à hauteur de 75%, ensuite les 3 types d'essence (essence normale, essence super sans plomb) pour environ 23% et le GPL dit « Sirghas » pour seulement 2% soit 300000 tonnes. Très peu de ces véhicules sont munis de filtres à particules. D'autres sources contribuent aux niveaux enregistrés de façon importante : les vents de sable, les feux de biomasse, l'usure de la chaussée, l'usure des pneus et des plaquettes de frein, les carrières, les activités industrielles et le chauffage domestique.

Par ailleurs, les niveaux de PM₁₀ ont été mesurés en site trafic et en site de fond urbain, c'est-à-dire, à l'intérieur du campus universitaire de Zouaghi. Les niveaux de PM₁₀ observés au niveau du campus se sont avérés moins élevés que ceux enregistrés en site trafic avec des concentrations moyennes de 25,76 et 46,70 µg/m³ respectivement. En site urbain, les PM₁₀ représentent 55% de ceux mesurés en site trafic.

Les concentrations moyennes de cadmium véhiculé par les PM₁₀ et PM_{2.5} sont de 0,81 et 0,53 ng/m³ respectivement, alors que la valeur guide annuelle de l'OMS est de 5 ng/m³.

Après avoir minéralisé les filtres contenant les PM₁₀ et les PM_{2,5}, les solutions obtenues seront analysées pour déterminer les concentrations d'autres éléments en traces métalliques qu'elles contiennent. Ces concentrations seront utiles pour l'identification de l'origine des différentes sources de ces éléments métalliques. En outre, elles serviront à déterminer l'apport des sources naturelles et du trafic ainsi que l'exposition de la population riveraine à ces éléments toxiques.

Références bibliographiques

- 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, p. 993-1006.
- Ali-Khodja, H. Belaala, A. Demmane-Debbih, W, Habbas, B et Boumagoura, N. (2008). Air quality and deposition of trace elements in Didouche Mourad, Algeria. *Environ. Monit. Assess.* (2008) 138: p. 219–231.
- Barlow, T. J. Boulter P. G., McCrae, I. S., Sivell, P., Harrison, R. M., Carruthers, D. and Stocker, J. (2007). Non-exhaust particulate matter emissions from road traffic : Summary report. TRL limited, April 2007, p. 1-2.
- Bencharif-Madani, F.(2012) . Mesure des PM10 et de leurs teneurs en éléments en traces métalliques à proximité d'un axe de circulation de la cite Daksi dans la ville de Constantine. Mémoire de Magistère, Université Mentouri-Constantine, p. 12-13
- Bouchlaghem, K. Nsom, B. (2012). Effect of atmospheric pollutants on the air quality in Tunisia. *Sci World J.* doi:10.1100/2012/863528
- Deltras, g. et Paul, e. (1998). Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes, contrat ADEME n° 9793022, Université Josef Fourier, Université de Pau et des pays de l'Adout.
- Diaf, N., Bouchaour, M., Merad, L. et Benyoucef, B. (2003). Paramètres Influençant la dispersion des polluants gazeux. Laboratoire des Matériaux & Energies Renouvelables, Facultés des Sciences, Université de Tlemcen. *Rev. Energ. Ren. ICPWE*, p. 139-142.
- *Draxler, R.R. Rolph, (2011). G.D. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website.*
- Goulaouic, S. (2009). Effet des particules fines atmosphériques sur la sécrétion des cytokines pro-inflammatoires par les cellules THP-1 et mesures de marqueurs de stress oxydant. Thèse présentée pour l'obtention du doctorat de l'université Paul Verlaine de Metz, discipline : toxicologie de l'environnement, p. 16-21.
- Han, X. Luke, P. & Naeh. (2005). A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. *Environ. Int.*, p. 108-110
- Hare, S. Cresswell, L. Twigg, R & Joe Bushdahl . (2002). Air pollution. *Atmosphere, Climate & Environment Information Programme (aric)*, 17.
- (Institut de gestion de l'environnement et d'aménagement du territoire (IGEAT)). Beyaert M., Antrop M., De Mayer P., Vandermotten C., Billen C., Decroly J.-M., Neuray C., Ongena

T., Queriat S., Van den Steen I, Wayens B. (2006), . L'évolution du paysage à travers trois siècles de cartographie, Lannoo, Tielt, p 248

- (Institut Français de l'Environnement (IFEN)). (2006). L'air dans l'environnement en France, édition 2006, Orléans, IFEN, p. 235-250.
- Institut National de Santé Publique (INSP). (2007). Bilan des données de pollution par les poussières au niveau d'Alger de 2001 à 2006.
- 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 février, pp. 31-40.
- Laïd, Y. Atek, M. Oudjehane, R. Filleul, L. Baough, L. Zidouni, N. Boughedaoui, M. et Tessier, J-F. (2006). Impact sanitaire de la pollution de l'air par les PM10 dans une ville du sud: le cas d'Alger. *Int J Tuberc Lung Dis* 10(12):p 1406–141
- Lamaison, L. (2006). Caractérisation des particules atmosphériques et identification de leur source dans une atmosphère urbaine sous l'influence industrielle. Lille, France.
- MIET, K. (2008). Etude expérimentale de la dégradation hétérogène des composés aromatiques polycycliques (CAP) d'intérêt troposphérique. Thèse présentée à l'université Bordeaux pour obtenir le grade de docteur, spécialité : chimie analytique et environnement .p. 15-16, 18-24.
- Office National des Statistiques. Données du 31/12/2014. Parc national automobile (2014).
- 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.
- OMS. (2011). Aide mémoire n° 313.
- Petkova, EP. Jack, D W. Volavka-Close , NH. Kinney, PL. (2013). Particulate matter pollution in African cities. *Air Qual Atmos Health* 6(3):pp 603–614.
- Ramade, F. (1982). Eléments d'écologie, écologie appliquée, action de l'homme sur la biosphère.
- Renoux, A. (1990). Ce qu'il faut savoir sur l'aérosol atmosphérique. *Pollution Atmosphérique*. p. 125.

- Sammut, M. (2008). Spéciation du cadmium, du plomb et du zinc dans les poussières d'émissions atmosphériques d'origine sidérurgique - Approche de l'impact toxicologique des poussières. Université de droit, d'économie et des sciences, Aix-Marseille III, French. p. 17.
- 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.
- Sirven, J. (2006). Détection de métaux lourds dans les sols par spectroscopie d'émission sur plasma induit par laser (LIBS). Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1.
- Terrouche. A, Ali-Khodja, H. Talbi, M. Bencharif-Madani, F. Charron, A & Derradji, A. (2014): Roadside PM10 and associated metals in Constantine, Algeria, International Journal of Environmental Studies
- Tombette, M. (2007). Modélisation des aérosols et de leurs propriétés optique sur l'Europe et l'île de France : validation, sensibilité et assimilation de données. Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de docteur nationale des ponts et chaussées, p. 30-36.
- Vassilakos, C., Saraga D., Maggos T., Michopoulos J., Pateraki S. & Helmis C.G. (2005). Temporal variations of PM2.5 in the ambient air of a suburban site in Athens, Greece. Sci. Total Environ., 349, p. 223-231.
- Zeng, Y. and Hopke, P.K. (1994) . Comparison of the Source Locations and Seasonal Patterns for Acidic Species in Precipitation and Ambient Particles in Southern Ontario, Canada, Sci. Total Environ. 143, p 245-260.
- <http://www.danger-santé.org>
- <http://www.hc-sc.gc.c>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Fer#Propri.C3.A9t.C3.A9s_chimiques

Annexe 1. Description et mode de fonctionnement du préleveur de poussières fines Mini Vol TAS

1. Echantillonnage des particules

1.1. 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.

1.2. 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 μ soit observé.

1.3. 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.

1.4. Sélection du temps d'échantillonnage

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

1.5. 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 Isp. 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 préprogrammés.
11. Fermer le boîtier de l'échantillonneur.

1.6. 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.

1.7. 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.

Annexe 2. Calibrage du collecteur TAS

FEUILLE DE CALIBRAGE TAS			
Station : Rond point Zouaghi		Date : 2015	Heure : 16 h : 00
Modèle du collecteur : TAS PM10		Opérateur :	
Pa =940 mb = 707.2328 mm Hg ; Ta = 18.6 °C = 291.6 °K			
Conditions inhabituelles :			
Date de calibrage de l'orifice:14/03/2015			
Droite de calibrage de l'orifice : $m_{flo} = 5,847$ $b_{flo} = -0.0680$; $r^2 = 0.9998$			
Rotameter flow rates Q_{ind}	ΔH (in.)	Q_{act} (l/min)	Q_{std} (l/min)
6.5	5.17		
6.0	4.02		
5.5	3.25		
5	2.77		
4.5	2.12		
4	1.73		
$Q_{act} = m_{flo} x \sqrt{\frac{\Delta H x T_{act}}{P_{act}}} + b_{flo}$ $Q_{@std} = Q_{act} x \sqrt{\frac{T_{std} P_{act}}{T_{act} P_{std}}}$ $Q_{@std} = m_{vol} Q_{ind} + b_{vol}$ $Q_{act} = (m_{vol} Q_{ind} + b_{vol}) x \sqrt{\frac{T_{act} P_{std}}{T_{std} P_{act}}}$ <p> m_{vol} = slope of the MiniVol™ flow rate calibration relationship = 1.3762 b_{vol} = intercept of the MiniVol™ flow rate calibration relationship = -0.8733 $r^2=0.998$ </p> $I_{sp} = \frac{5.0 x \sqrt{\frac{T_{std} P_{act}}{T_{act} P_{std}} - b_{vol}}}{m_{vol}} = 4.17$			

FEUILLE DE ROUTE DU COLLECTEUR TAS

Station :

Lieu :... Date :... Heure_i :... Heure_f :
 Modèle du collecteur :.....N/S.....
 N° du filtre :..... ; N/S de la batterie :
 P_{av} =..... mb = mmHg ;
 T_{av} = ... °C =K
 Précipitations (mm) (jour 1): yesterday :totales :.....
 Précipitations (mm) (jour 2): yesterday :totales :.....
 Vent: u_i (m/s)=Ø_i (°) =..... u_f (m/s) = Ø_f =

Débit indiqué par le rotamètre

Q_{ind initial} =.....litres/minute
 Q_{ind final} =.....litres/minute
 Q_{ind moyen} =..... litres/minute

Opérateur :.....

Commentaire (conditions atmosphériques, feux de forêt, vent de sable, précipitations, etc.)

Calcul au laboratoire :

Débit Q_{act} dans les conditions ambiantes

$$Q_{act} = (m_{vol} \times Q_{ind\ moy} + b_{vol}) \times \sqrt{\frac{t}{t_0}}$$

Temps affiché initial (indicateur de temps) =

Temps affiché final (indicateur de temps) =

Temps écoulé :.....h

Volume V_{act} (conditions ambiantes)

$$V_{act} = \frac{60^{min}}{h}$$

Où t = temps de prélèvement

0,392

Tare = g

Poids brut = g

Poids net = g

C(µg/m³) = Poids net (g) x 10⁶/V_{std} (m³) = µg/m³

Annexe 3. Appareils utilisés



Figure 17. Préleveur HVS en site urbain



Figure 18. Préleveur LVS en site trafic



Figure 19. Spectromètre d'absorption atomique à four de marque (FAAS Perkin Elmer A.Analyst 300)



Figure 20. Spectromètre d'absorption atomique à flamme de marque Shimadzu, modèle AA-7000