



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ «ABBÉS LAGHROUR» KHENCHELA
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE



Département des Sciences de la Matière

N° de série :.....

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

Filière : Chimie

Spécialité : Chimie analytique et environnement

Intitulé :

UTILISATION DU REGROUPEMENT DES RETRO-TRAJECTOIRES POUR IDENTIFIER LES SOURCES DE LA POLLUTION PARTICULAIRES DANS UN SITE URBAIN

Réalisé Par : -Boussalem Souhila

Dirigé par : Dr. Terrouche Ahmed

- Zeriba Wissam

Membres de jury :

Promotion 2017-2018

A decorative circular border surrounds the text. It features three black graduation caps (mortarboards) at the top, several rolled-up scrolls tied with red ribbons, and clusters of blue and green flowers. The background is a light, textured white.

REMERCIEMENT

Tout d'abord nous devons remercier le bon Dieu le tout puissant qui nous a permis d'être une de ces personnes qui exercent ce noble métier et qui nous a donné la force pour terminer ce modeste travail.

*Ensuite, on tient à remercier très chaleureusement notre encadreur le Dr : **TERROUCHE AHMED** et à tous les enseignants de 1^{er} année jusqu'à la 2^{ème} année master sans exception et tous ceux qui nous ont aidés dans notre formation de près ou de loin.*

Je remercie l'ensemble de mes collègues de l' Université Abbés Laghrour Khenchela

Dédicace

*je dédie ce modeste travail tout d'abord à mon dieu
qui m'a aidé sur le droit chemin tout au long de ce travail.
à ma mère qui m'a éclairé mon chemin, qui m'encouragé
et m'a soutenue tout au long de mon étude.*

à mon père pour son soutien.

à ma chère soeur : Khaoula

à mes frères : Sebti ; Mahmoud ; Zeen E dirne

à mes fidèle et intime amie : Hakim Hamama

à mon binôme qui m'accompagne dans ce chemin Wissam

à tous mes collègues de promotion 2017-2018

Boussalem Souhila



Dédicace

*je dédie ce modeste travail tout d'abord à mon dieu
qui m'a aidé sur le droit chemin tout au long de ce travail.
à ma mère qui ma éclairé mon chemin, qui m'encouragé
et m'a soutenue tout au long de mon étude.*

à mon père lah yerhmou .

à mes chère soeurs : Nacira Faiza Hassiba et spécialement Raouya.

à mes frères Ssalim Fares Samir

à mes fidèle et intime amies : Hamama Khawla

à mon binome qui m'accompagne dans ce chemin Souhila

à tous mes collègues de promotion 2017-2018



Zeriba Wissam



SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicace	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction général	

PARTIE THEORIQUE

CHAPITR I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Définitions.....	3
I.2. Classification des particules.....	4
I.2.1. Classification des particules selon leurs tailles.....	4
I.2.2. Classification des particules selon leurs sources.....	4
I.2.2.1. Les particules d'origines naturelles.....	4
I.2.2.2. Les particules d'origines anthropiques.....	5
I.2.2.2.1. Les aérosols industriels.....	6
I.2.2.2.2. Le transport et l'automobile.....	6
I.2.2.2.3. L'agriculture.....	7
I.2.2.2.4. Les déchets.....	7
I.2.3. Classification des particules selon leurs mécanismes de formation.....	7
I.2.3.1. Les particules primaires.....	7
I.2.3.2. Les particules secondaires.....	8
I.3. Influence des paramètres météorologiques sur la pollution de l'air.....	8
I.4. Durée de vie des aérosols et processus d'élimination.....	9
I.5. Les effets des particules sur la santé.....	10
I.5.1. Dépôt des particules en suspension dans Le système respiratoire.....	10
I.5.2. Toxicologie.....	10
I.5.3. Données épidémiologiques sur les PM10 et PM 2,5.....	11
I.6. Les effets des particules sur le climat	11
I.7. Recommandations et législations des émissions des particules.....	11
I.7.1. Recommandations Algérienne.....	11
I.7.2. Recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS).....	13

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSIONS

II.1. Description des sites.....	15
II.2. Mesure des paramètres météorologiques.....	15
II.3. Mesure des particules fines	16
II.4. Concentration moyenne de PM10 et quelques éléments chimiques.....	17
II.5. Influence des paramètres météorologiques sur la concentration de PM10.....	20
II.5.1. Influence de la Direction et la vitesse du vent sur la concentration de PM10.....	20
II.6. utilisation des rétro trajectoires pour l'identification des sources lointaines.....	22
Conclusion général	
Références bibliographiques	

LISTE DES ABREVIATIONS

Airparif	Association de surveillance de la qualité de l'air en France
Al	Aluminium
As	Arsenic
Ca	Calcium
Cd	Cadmium
CO	Monoxyde de carbon
Co	Cobalte
COV	Composés Organiques Volatils
CO2	Oxyde de Carbon
Cr	Chrome
Cu	Cuivre
Fe	Fer
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCl	Acide Chlorhydrique
Hg	Mercure
K	Potassium
Mg	Magnésium
Mn	Manganèse
Na	Sodium
NaCl	Chlorure de Sodium
NH₃	Ammoniac
Ni	Nickel
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
Pb	Plomb
PCDD	Polychlorodibenzo-para-dioxines
PCDF	Polychlorodibenzofuranes
PM	Particulate Matter
PM10	Particulate Matter (aérosol de diamètre < 10 µm)
PM2,5	Particulate Matter (aérosol de diamètre < 2,5 µm)
Ps	Particules en Suspension
RN79	Route Nationale N°79
S	Soufre

Si	Silicium
SO_x	Oxyde de Soufre
SO₂	Dioxyde de Soufre
TAS	Tactical Air Sampler
TSP	Particules Totales en Suspension
UV	ultra violet
Zn	Zinc
%	Pourcentage
°C	Degré Celsius
µg	Microgramme
ng	Nanogramme
Hysplit	HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory,
H	Hummidité
D°	Direction de vent

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Site de prélèvement de la cité Zouaghi	15
Figure 2 : Le collecteur de poussières (TAS).....	16
Figure 3 : La rose des vents pour la période de mesure.....	22
Figure 4 : Rétro-trajectoires moyennes de chaque groupe des rétro trajectoires (Le pourcentage de rétro trajectoires dans chaque groupe est également inclus).....	24

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs limites d'émission des paramètres de rejets atmosphériques.....	13
Tableau 2 : Résumé statistique de différents paramètres mesurés dans le site.....	17
Tableau 3: Coefficients de corrélation de PM10 avec les paramètres météorologiques.....	20
Tableau 4: Concentrations moyennes de PM10 et de quelques éléments dans chaque groupe...	25

Introduction

Depuis, l'étude de la pollution atmosphérique s'est largement diversifiée pour une meilleure connaissance du phénomène de pollution et une lutte plus efficace : il s'agit d'un problème multidisciplinaire qui mobilise autant les spécialistes épidémiologiques, les spécialistes en modélisation des transports, en émission et transformation des polluants, que les autorités locales et les industriels.

L'impact de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé est de mieux en mieux documenté. Un polluant est un corps d'origine anthropique ou non, à l'état solide, liquide ou gazeux, contenu dans l'atmosphère et qui ne fait pas partie de la composition normale de l'air ou qui y est présent en quantité anormale. Suivant un critère de toxicité, de spécificité de sources et de la pollution générée, les principaux polluants mesurés par les organismes de surveillance de la qualité de l'air sont les oxydes d'azote (NOX), le dioxyde de soufre (SO₂), le monoxyde de carbone (CO), les particules en suspension (PS), le plomb (Pb), les composés organiques volatils (COV) et l'ozone (O₃). Dans les polluants incriminés, les particules sont parmi les plus étudiés. Leurs effets dépendent de leur taille, de leur nature et de leur composition qui varie selon leur origine. Leur taille est exprimée par rapport à leur diamètre aérodynamique moyen. Les particules en suspension dans l'atmosphère urbaine constituent un ensemble vaste et hétérogène sur les plans chimique et physique. La toxicité des poussières est essentiellement liée à la fraction de taille aérodynamique inférieure à 10 µm (PM₁₀). Elles peuvent pénétrer jusqu'aux voies respiratoires inférieures, véhiculant à leur surface d'autres polluants pouvant être toxiques, ce qui conduit à une signification biologique et sanitaire. Les particules en suspension, en particulier les PM₁₀, représentent un indicateur majeur de la qualité de l'air d'un point de vue sanitaire, tant sont nombreuses et cohérentes, par-delà les contextes géo climatiques, des populations et des sources d'émissions, les études leur attribuant une responsabilité dans la survenue d'une vaste gamme d'effets biologiques et sanitaires. (Van Staëvel, 2000).

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).

En général, la qualité de l'air en Algérie et dans les autres pays du Maghreb n'a fait pas l'objet de mesures consistantes du fait du nombre insuffisant de chercheurs impliqués dans ce domaine et du manque de fiabilité des rares réseaux de surveillance de la qualité de l'air installés en Algérie. Il est donc de la plus haute importance de se pencher sur ce problème afin

d'estimer les niveaux de concentrations des PM10, d'apprécier l'exposition des riverains à ces poussières, d'identifier les sources potentielles des particules recueillies et de proposer des pistes de travail susceptibles d'apporter des réponses quant à la part de contribution du trafic routier en milieu urbain aux niveaux mesurés.



CHAPITRE I :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Définitions :

L'air : Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions : «l'air est un mélange gazeux constituant l'atmosphère terrestre » (Ramade, 2000).

Il est composé d'oxygène, d'azote, de gaz rares et de contaminants. Ces contaminants peuvent être d'autres gaz ou des particules solides ou liquides en suspension. Ces particules en suspension (notés PM qui vient de l'anglais Particule Matter) varient en termes de taille, de nombre, de surface, de composition chimique, de solubilité et d'origine (Pope CA, Dockery DW. 2006. World Health Organization.2006). Les particules sont souvent classées selon leurs propriétés aérodynamiques car ces propriétés déterminent le transport et la remise en suspension des particules dans l'air, elles déterminent aussi leur pénétration dans l'appareil respiratoire et leurs compositions chimiques (Wilson R, 1996.).

L'air ambiant: « un terme désignant l'état physicochimique de l'air se trouvant au niveau du sol dans une zone donnée ou encore celui qui est propre à des locaux d'habitations ou professionnels » (Ramade, 2000).

L'atmosphère : Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions : « l'atmosphère est une couche la plus extérieure de la planète, de nature gazeuse, constituant donc la partie la plus extérieure de l'écosphère, et dont la présence constitue l'agent moteur du cycle de l'eau, on appelle « atmosphère réduite » ; une atmosphère théorique dont la pression serait uniforme et égale à sa valeur normale au niveau du sol, dans une telle hypothèse, l'atmosphère toute entière aurait une épaisseur de 8 km, alors que l'épaisseur de l'atmosphère réelle excède 1000 km » (Ramade, 2000).

La pollution : est définie par l'organisation mondiale de la santé (OMS) comme étant « la présence dans l'atmosphère de substances étrangères à la composition normale de cette atmosphère et à des concentrations suffisamment élevées pour entraîner un impact sur l'homme, les animaux, les végétaux, les matériaux ou l'environnement d'une manière gêner».

Les particules : le terme particule est une expression générique qui désigne un mélange des polluants solides et /ou liquides en suspension dans un milieu gazeux .Les particules sont aussi appelées aérosols, notion inclus à la fois les particules et le gaz dans lequel elles se trouvent en suspension. (AIRPARIF ,2008)

I.2 . Classification des particules :

I .2.1. Classification des particules selon leurs tailles :

La taille des particules dans l'air peut s'entendre sur près de six ordres de grandeurs (de quelques fraction de nanomètre à une centaine de micromètres) et leur composition chimique est très variable, ce qui en fait l'un des constituants les plus complexes de l'atmosphère (AIRPARIF ,2008)

On distingue deux types de particules selon leur taille et leur mode de formation :

Les particules grossières¹ et les particules fines. Pour la mesure des particules, on utilise les fractions de tailles suivantes :

TSP (Total Suspended Particules) qui comprend toutes les particules; le terme PM10 qui désigne les particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 μm ; le terme PM2, 5 qui désigne les particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2,5 μm ; le terme grossières qui désigne les particules dont le diamètre aérodynamique est compris entre 2,5 et 10 μm ; le terme ultrafine pour les particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur 0,1 μm .

La métrologie des particules se fait soit par échantillonnage avec des prélèvements d'air, soit par observation (Putaud et al, 2005).

I .2.2.Classification des particules selon leurs sources :

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur la santé, les écosystèmes, etc (Lacour, 2001).

I .2.2.1. Les particules d'origine naturelles :

Il existe 3 sources des aérosols primaires naturels :

La source terrigène : les particules sont générées par l'érosion de sols sous l'action de vent, notamment dans les régions désertiques (Masclat, 1998).

La source marine : sous l'action des vagues, des gouttelettes d'eau projetée dans l'atmosphère après l'évaporation de l'eau de mer. Les sels marins peuvent contribuer à plus de 80% de la masse moyenne annuelle du PM10 (Putaud et al, 2004).

Les aérosols marins (embruns marins) sont : un mélange de sels inorganiques et de matières organiques. Le composant principal des sels issus de la mer est le chlorure de sodium (Na Cl).

La source biologique : l'aérosol biogénique provient de l'émission directe par les plantes d'hydrocarbures lourds, de pollen, de spores, ainsi que des débris végétaux, des cellules épithéliales humaines et animales, des fragments d'insectes, des filaments de cheveux cassés, et ainsi de suite (Jaenicke et al, 2007).

Les aérosols biologiques influent non seulement sur la santé publique, la qualité de l'air, les propriétés physico-chimiques de l'atmosphère, mais jouent aussi un rôle important dans la régulation des processus atmosphériques (formation de glace et condensation des nuages) (Christner, 2008 ; Pöschl et al, 2010).

Les feux de végétation : Les émissions produites par des incendies naturels ont un effet significatif sur la concentration des particules dans l'atmosphère. Ces feux de forêts surviennent habituellement au cours de l'été, comme c'est le cas en Algérie où le climat est sec (42 555 feux ayant parcouru 910 640 hectares durant la période 1985-2010) (Meddour et al, 2013).

I .2.2.2. Les particules d'origine anthropiques :

On peut dire que la quasi-totalité des activités humaines est une source de pollution de l'air, qui apparaît essentiellement sous deux formes de substances polluantes :

Substances gazeuse : présence de gaz nouveaux ou augmentation de la proportion d'un gaz existant naturellement.

Substances solide : mise en suspension de particules se forme des poussières et/ou fumées) (Encyclopædia Universalise, 1998).

Les principales sources sont les installations de combustion et les procédés industriels tels que : extractions de minéraux, cimenterie, aciérie, fonderie, verrerie, plâtrière, chimie fine,

etc. Les particules solides servent de vecteurs à différentes substances toxiques voire cancérogènes ou mutagènes (métaux lourds, HAP,...) et restent de ce fait un sujet important de préoccupation. (CITEPA, 2010).

La production d'énergie thermique au niveau individuel ou tertiaire (chauffage des logements et des bureaux) comme au niveau industriel (production de vapeur ou d'électricité), la combustion de combustibles fossiles (charbon, fioul lourd, etc.) produit d'importantes émissions polluantes. (Ait-ali et al, 2010).

I .2.2.2.1. Les aérosols industriels :

Les éléments pris en compte ici sont des polluants atmosphériques régionaux (NH_3 , NO_x , PM_{10} , SO_2 , COVNM), des métaux lourds (As, Cd, Cr, Pb, Hg, Ni), des micropolluants organiques (benzène, HAP, dioxines et furanes) et le CO_2 (Fernández-Camacho et al. 2012).

Certaines activités industrielles peuvent libérer de grandes quantités de particules telles que l'industrie minérale et les activités connexes (Pimonsree et al, 2009) et des gaz précurseurs tels que le SO_2 et les hydrocarbures. Par exemple les centrales électriques aux États-Unis contribuent aux émissions de SO_2 à hauteur de 78% (U.S. Department of Energy, 1997).

I .2.2.2.2. Le transport et l'automobile :

La pollution due aux transports a longtemps été considérée comme un problème de proximité, essentiellement perçue dans les villes en raison de la densité du trafic. Aujourd'hui, on sait que les transports, essentiellement routiers et en particulier l'automobile, sont une source de pollution importante. Les moteurs à explosion sont ainsi de très loin la première cause d'émissions d'oxydes d'azote et de divers hydrocarbures. Les moteurs diesels, moins polluants pour ce qui concerne ce dernier type d'émissions, sont en revanche à l'origine de particules et de dioxyde de soufre.

La contribution de transport à la pollution ne cesse de s'accroître du fait de l'augmentation du trafic directement liée à l'évolution économique, en dépit des nombreux progrès technologiques réalisés au cours des dernières années.

Le poids de l'opinion publique peut certes jouer avec autant de force sur les grands choix de sociétés relatifs aux transports (modification des habitudes de déplacement,

développement des transports collectifs ...etc.) mais rien n'est moins sûr car les rapports entre citoyens et thèmes environnementaux sont ambigus, tant qu'il s'agit de développer des idées nobles et généreuses à l'échelle de la planète le consensus environnemental est fort, par contre dès que les propositions écologistes touchent aux intérêts financiers et aux modes de vie auxquels sont attachés les citoyens le soutien disparaît (Subra, 2001).

I .2.2.2.3 L'agriculture :

L'agriculture a aussi sa part de responsabilité en ce qui concerne la pollution particulaire. Elle contribue, en effet, et parallèlement à d'autres secteurs domestiques, à l'émission de particules primaires et celle des gaz précurseurs (NH_3 , NO_x , COV, SO_x).

Les travaux des champs agricoles constituent une source de particules primaires. Le travail du sol, la récolte et la gestion des résidus sont identifiés comme les principales sources d'émissions. Selon le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA), l'agriculture était en 2010 responsable de 48% des émissions de particules totales en suspension (TSP) en France, de 19% des émissions nationales de PM10 et de 10% des émissions nationales de PM2,5 (Lepicard et al, 2013).

I .2.2.2.4. Les déchets :

Les déchets sont considérés comme l'une des plus grandes sources de pollution, qu'ils soient abandonnés dans une décharge ou incinérés, par leur décomposition ils sont producteurs de plusieurs polluants, tels que le méthane, l'acide chlorhydrique, les métaux lourds, les dioxines et les furanes. (Ramade, 2000).

I.2.3. Classification des particules selon leurs mécanismes de formation :

I.2.3.1. Les particules primaires :

Les particules primaires sont émises directement dans l'atmosphère sous forme solide ou liquide. Il s'agit par exemple des particules minérales résultant de l'érosion de sols, du sable d'origine désertique, des embruns marins, des cendres volcaniques, etc.

En milieu urbain, on peut retrouver des suies provenant du chauffage domestique, des particules émises directement par la combustion des carburants automobiles ou résultant de l'usure des pneumatiques et des freins, Les principaux constituants des particules primaires

sont : des composés organiques, le carbone élémentaire et les éléments de la croûte terrestre tels que le silicium (Si), l'aluminium (Al), le calcium (Ca) et le fer (Fe).

I.2.3.2. Les particules secondaires :

Résultent de la conversion en particules, des gaz présents dans l'atmosphère. Cette conversion, soit directement gaz-solide, soit par l'intermédiaire des gouttes d'eau, est appelée nucléation. La nucléation est le mécanisme de base de la formation des nouvelles particules dans l'atmosphère. Les principaux précurseurs impliqués dans la formation des particules secondaires sont le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x et nitrates), les composés organiques volatils (COV) et l'ammoniac (NH₃).
(source :(<http://www.irceline.be/fr/documentation/faq/que-sont-des-particules-primaires-et-secondaires20:31,22/04/2018>))

I.3. Influence des paramètres météorologiques sur la pollution de l'air :

La qualité de l'air est directement liée aux conditions météorologiques. En effet, elle peut varier pour des émissions de polluants identiques en un même lieu, selon le temps (plus ou moins de vent, du soleil, etc.).

De manière simplifiée :

- Le vent est favorable à la dispersion des polluants, notamment à partir de 20 km/h. Toutefois, il peut également amener des masses d'air contenant des polluants en provenance d'autres sources. Lorsqu'il est de faible vitesse, ces phénomènes de transport accompagné d'accumulation, est courant.
- Le soleil est un paramètre très important car ses rayons UV interviennent dans la formation de polluants photochimiques tels que l'ozone. Donc, plus il y a de soleil, plus la production d'ozone sera importante s'il y a dans l'atmosphère les précurseurs nécessaires à ces réactions chimiques (c'est-à-dire les oxydes d'azote et les Composés Organiques Volatils).
- Les précipitations influencent également la qualité de l'air, de fortes précipitations rabattent les polluants les plus solubles vers le sol (particules en suspension, dioxyde de soufre, dioxyde d'azote, etc.).

Enfin le phénomène d'inversion de température peut être à l'origine d'une augmentation des concentrations en polluants. Normalement la température de l'air diminue avec

l'altitude (dans les basses couches de l'atmosphère), l'air chaud chargé de polluants se disperse à la verticale (principe de la montgolfière). Lorsque le sol s'est fortement refroidi pendant la nuit (par temps clair en hiver), et que la température à quelques centaines de mètres d'altitude est plus élevée que celle du sol, alors il y a phénomène d'inversion de la température. Les polluants se trouvent alors bloqués par cette masse d'air chaude en altitude plus communément appelée couche d'inversion. (AIRPARIF, 2008)

I.4. Durée de vie des aérosols et les processus d'élimination :

Le taux des aérosols dans l'atmosphère diminue selon deux mécanismes : le dépôt à la surface (dépôt sec) et l'incorporation des particules dans les gouttelettes des nuages au cours de la formation des précipitations (dépôt humide).

La durée de vie des aérosols atmosphériques dépend du diamètre, de la composition chimique et des propriétés thermodynamiques des particules. Si les traces de gaz atmosphériques ont des durées de vie allant de moins d'une seconde à un siècle ou plus, les temps de séjour des particules dans la troposphère ne varient que de quelques jours à quelques semaines.

Les particules formées par nucléation (< 20 nm) ont une durée de vie très courte (quelques heures), en raison de leur rapide conversion en particules plus grandes ($0,01-0,1$ μm). La durée de vie des particules (> 50 nm) est inversement proportionnelle à la taille de celles-ci, donc elle diminue lorsque le diamètre augmente (quelques heures pour les $\text{PM} > 20$ μm à 2-4 jours pour les particules de 2-3 μm de diamètre), alors que les particules d'une taille comprise entre 0,1 et 1 μm présentent une durée de vie, de séjour dans l'atmosphère, maximale (quelques semaines) (Mészáros, 1999), et il se trouve que ces dernières peuvent être transportées à plus de 4 000 km (Carlson et al, 1972). Ceci est attribuable à leur migration à haute altitude, car le transport est favorisé par une vitesse de vent plus élevée et un plus faible processus de dépôt humide (Prospero, 1999).

La composition chimique des particules influe aussi sur la durée de vie de celles-ci. La durée de vie est liée à leurs caractéristiques hygroscopiques. Les particules grossières et celles issues du processus d'accumulation ont des noyaux de condensation efficaces, car elles ont habituellement une importante fraction de solubilité dans l'eau, et elles sont principalement éliminées de l'atmosphère par dépôt humide (Lozano, 2007).

I.5. Les effets des particules sur la santé :**I.5.1. Dépôt des particules en suspension dans Le système respiratoire :**

Le dépôt des particules en suspension dans le système respiratoire dépend des propriétés physico-chimiques de l'aérosol (la taille, la forme, la surface, le caractère hygroscopique et hydrosoluble et la composition chimique), mais aussi de l'anatomie de l'appareil respiratoire (Morawska L, Moore MR, Ristovski ZD).

On distingue habituellement cinq mécanismes de dépôt (AFSSET, 2006):

- La sédimentation, liée à la gravité agissant sur les particules ;
- l'impaction inertielle, qui caractérise le comportement des particules massives;
- L'interception, qui se produit lorsqu'une particule entre en contact avec une surface
- La diffusion, liée au mouvement aléatoire des particules très nées ;
- L'attraction électrostatique, lorsque les particules sont chargées;

Après leur dépôt, les particules ultra- nées et particulièrement les particules inférieures à 0,1µm semblent transloquer facilement vers des sites extra pulmonaires et atteignent alors différents organes cibles.

En effet, les hypothèses plaident en faveur d'un rôle potentiel des particules ultra nées dans les effets adverses des particules sur la santé, en raison de leur forte pénétration dans l'appareil respiratoire (liée à leur nombre et à leur taille), de leur réactivité liée à l'importance de leur surface par unité de masse, de leur activité oxydante plus forte, de la composition chimique de leur surface et de leur passage dans la circulation sanguine.

I.5.2. Toxicologie :

Les effets toxicologiques des polluants, en particulier des particules ultra nées, sur les mécanismes de stress oxydatif ainsi que sur l'appareil cardio-vasculaire sont mis en évidence par plusieurs études biologiques (Dockery DW, 2005; Oberdorster, 2005).

D'autres études ont aussi montré que la fonction respiratoire diminuait lors d'une exposition chronique à long-terme aux particules. En augmentant le stress oxydatif, elles aggravent l'inflammation des BPCO (Bronco- Pneumopathies Chroniques Obstructives) et conduisent à leur exacerbation (Dockery, 2006).

De même, l'inflammation alvéolaire serait à l'origine d'une inflammation systémique contribuant à augmenter la coagulabilité sanguine elle-même responsable de l'initialisation et la progression de l'athérosclérose à l'origine de maladies cardiaques ischémiques aiguës et d'accidents vasculaires cérébraux. De plus, des lé- soins anatomo-pathologiques des

bronches et des bronchioles, ainsi qu'un épaississement de la paroi artérielle ont été aussi associés à une exposition chronique aux particules (Dockery, 2006).

I.5.3. Données épidémiologiques sur les PM10 et PM 2,5 :

Les effets des particules PM10 et PM 2,5 ont largement été étudiés depuis une vingtaine d'années et ont fait l'objet récemment d'une revue bibliographique détaillée (Dockery, 2006).

Les études ont mis en évidence un lien à court terme et à long-terme entre les concentrations ambiantes de particules et la survenue ou l'aggravation, pouvant aller jusqu'au décès. L'exposition aux particules PM2,5 est associée à la mortalité cardiovasculaire et des associations similaires, voire plus élevées, ont été trouvées pour des causes de décès plus spécifiques (maladies respiratoires, cardiopathies ischémiques). Ce lien est généralement plus élevé pour les personnes âgées de 65 ans et plus ; c'est pourquoi certaines études se sont particulièrement intéressées à ce sous-groupe de population (Dockery, 2006 ; Filleul, 2004).

I.6. Les effets des particules sur le climat :

L'évolution du climat dans les décennies à venir va avoir un impact sur des variables Météorologiques (par exemple, températures, précipitations, vents) qui vont influencer divers Facteurs (émissions de polluants, cinétique chimique, équilibre gaz/particules, lessivage des Polluants, périodes de stagnation, transport à longue distance) qui affectent la qualité de l'air (Jacob, 2009 ; Jacob, 2009).

L'augmentation des concentrations d'ozone dans diverses régions du globe a été prédite par plusieurs modèles. Il y a cependant peu d'études de l'effet du changement climatique sur les particules atmosphériques. Les effets sont complexes car certains effets conduiraient plutôt à une augmentation de leurs concentrations (émissions plus importantes de précurseurs, oxydation en produits condensables plus rapide) alors que d'autres mèneraient plutôt à une diminution de leurs concentrations (par exemple volatilisation des espèces semi-volatiles).

I.7.Recommandations et législations des émissions des particules :

I.7.1. Recommandations Algérienne :

L'article 3 du Décret exécutif n° 06-138 du 5 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi les

conditions dans lesquelles s'exercent leurs contrôles fixent les valeurs limites des rejets atmosphériques (tableau 1). Toutefois, il précise qu'en attendant la mise à niveau des installations industrielles anciennes dans un délai de cinq (5) ans, les limites des rejets atmosphériques prennent en charge l'ancienneté des installations industrielles en déterminant une tolérance pour les rejets atmosphériques émanant de ces installations. L'article 7 stipule que si une indisponibilité est susceptible de conduire à un dépassement des valeurs limites des rejets atmosphériques, l'exploitant doit prendre les dispositions nécessaires pour réduire la pollution émise en réduisant ou arrêtant si besoin les activités concernées.

En général les limites d'émissions dans l'industrie du ciment s'appliquent aux trois principaux polluants que sont les NO_x, le SO₂ et les poussières. Certains pays ont limité les émissions de métaux, de HCl, de HF, de composés organiques et de PCDD/F.

Tableau 1 : Valeurs limites d'émission des paramètres de rejets atmosphériques.

N°	Paramètre	Unité	Valeurs limites	Tolérance des valeurs limites des installations anciennes
1	Poussières totales	mg/Nm ³	50	100
2	Oxydes de soufre (exprimés en dioxyde de soufre)	"	300	500
3	Métaux et composés de métaux (gazeux et particulaires)	"	5	10
4	Rejets de cadmium, mercure et thallium, et de leurs composés	"	0,25	0,5
5	Rejets d'arsenic, sélénium et tellure et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	"	1	2
6	Rejets d'antimoine, chrome, cobalt, cuivre, étain, manganèse, nickel, vanadium et zinc, et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	"	5	10
7	Phosphine, phosgène	"	1	2

(Source : Décret exécutif 06-138 du 5 avril 2006)

1.7.2. Recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS) :

L'OMS préconise une valeur annuelle de 20 µg/m³ pour les PM₁₀ et de 10 µg/m³ pour les PM_{2,5} (OMS, 2006). Le seuil de 10 µg/m³ a été choisi pour représenter la plus faible concentration des PM_{2,5}, au-delà duquel, des effets significatifs sur l'espérance de vie des patients ont été observés, dans une étude de l'American Cancer Society. Cette valeur se situe ainsi, en-dessous des niveaux moyens engendrant des effets significatifs sur la santé, selon les études récentes disponibles (AIRPARIF, 2008).



CHAPITRE II :
RESULTATS ET DISCUSSIONS

II.1. Description des sites :

Les prélèvements des PM10 ont été effectués par l'équipe de laboratoire pollution et traitement des eaux de l'université de Constantine 1, pour une période allant du 23/03/2015 au 06/07/2015. Le préleveur de poussière a été placé à environ 3 m au-dessus du sol et à environ 6 m de la route nationale 79. Ce site est représentatif du niveau maximal d'exposition de la population située en proximité de la RN79.

Les variables météorologiques (Température, Pression, Humidité relative, Vitesse et direction du vent, précipitations) ont été mesurés à la même place d'une façon continue, avec une station météo sans fil WMR928N. (Figure. 1).

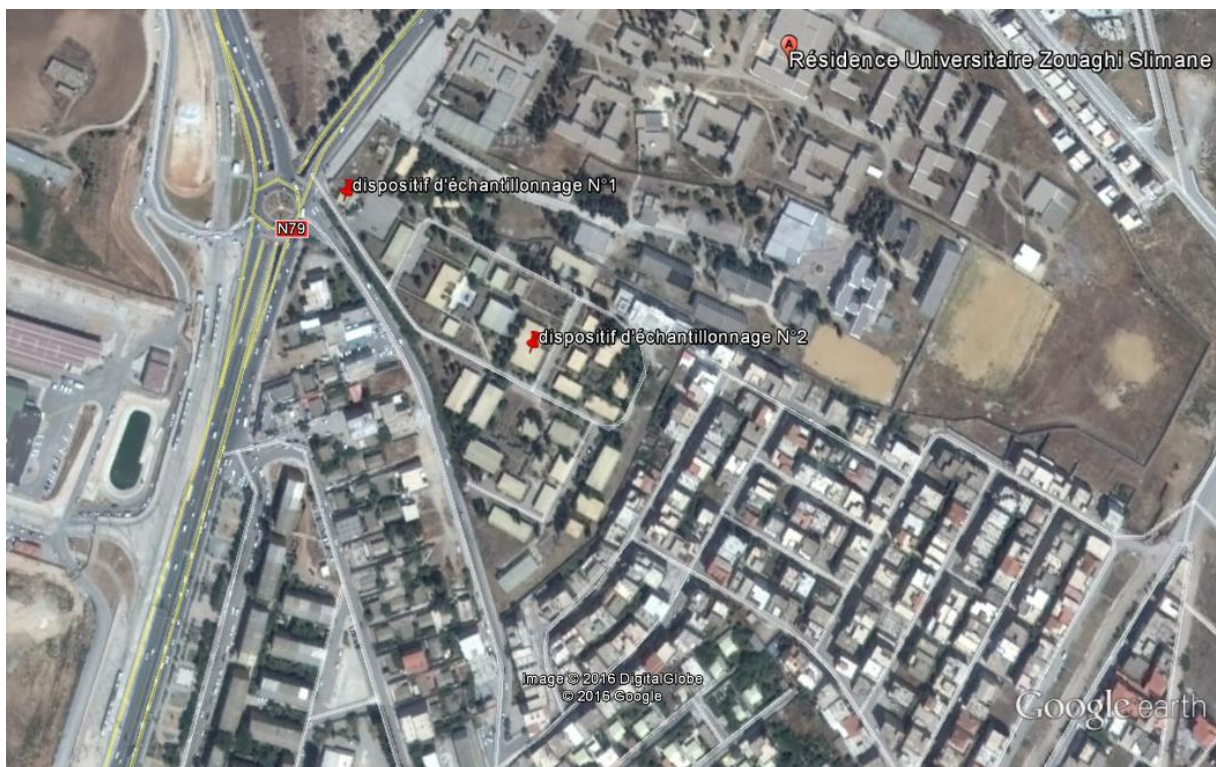


Figure 1 : Site de prélèvement de la cité Zouaghi

II.2. Mesure des paramètres météorologiques :

La station météo sans fil WMR928N est un système facile à utiliser, elle 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) <http://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/biblio/mmf/2015/116-2015.pdf> 27 échantillons de PM10 ont été recueillis, par l'équipe de laboratoire pollution et traitement des eaux de l'université de Constantine 1, deux fois par semaine entre le 15 janvier 2015 et le 08 juillet 2015.

II.3. Mesure des particules fines

Un échantillonneur d'air portable à faible volume (marque Airmetrics, modèle Minivol TAS) ayant un débit de 5 litres/minute a été utilisé (Figure2). Les particules de l'air ambiant sont piégées sur un filtre en quartz (47 mm de diamètre, avec une porosité de 0,2 μm). Avant et après chaque prélèvement, les filtres sont emmenés au laboratoire pour y subir une dessiccation pendant 24 h avant d'être pesés avec une précision inférieure à $\pm 0,01$ mg en utilisant une balance de marque Shimadzu (modèle AUW120D).



Figure 2 : Le collecteur de poussières (TAS)

Chaque filtre a fait l'objet d'une minéralisation selon la méthode de Kuvarega et al. (2008). Le spectromètre de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) a été utilisé pour l'analyse des différents éléments chimiques comme le Fe, Na, Mg, Ca, Zn..... etc.

Afin de minimiser les effets de matrices, la technique des ajouts dosés a été utilisée pour la détermination de tous les métaux. Les résultats de l'analyse de dix blancs ont été utilisés pour estimer la concentration des éléments inhérente à la contamination du filtre et à la préparation de l'échantillon.

II.4. Concentration moyenne de PM10 et quelques éléments chimiques :

Tableau 2 : Résumé statistique de différents paramètres mesurés dans le site

	MOY	MAX	MIN
PM10 (µg)	58.65	128.25	7.50
Fe (µg)	0.47	1.17	0.03
Cu (µg)	0.03	0.09	0.6
Zn (µg)	0.010	0.034	2×10^{-3}
Pb (µg)	0.06	0.215	8×10^{-3}
Na (µg)	0.51	2.66	0.04
K (µg)	0.24	0.75	0.02
Al (µg)	6.72	1.98	0.05
Ca (µg)	5.24	11.95	0.43

	MOY	MAX	MIN
S (µg)	0.59	1.15	0.10
Cd (µg)	0.16×10^{-3}	0.51×10^{-3}	0.5×10^{-3}
As (µg)	0.61×10^{-3}	1.45×10^{-3}	0.08×10^{-3}
Ni (µg)	1.99×10^{-3}	3.92×10^{-3}	0.3×10^{-3}
Mg (µg)	0.30	0.78	0.02×10^{-3}
Co (µg)	1.18×10^{-3}	0.46×10^{-3}	0.05×10^{-3}
Température (C°)	17.42	28.71	5.68
Humidité relative (%)	57.64	86.75	34.50
Vitesse du vent (m s⁻¹)	3.14	8.74	1.55

Le tableau 2 montre les statistiques sommaires pour les concentrations des PM10 et quelques éléments chimiques ainsi des données météorologiques pour la période d'étude. Durant cette campagne de mesure, la concentration moyenne en PM10 enregistrée est de $58.65 \mu\text{g m}^{-3}$. Cette concentration dépasse la moyenne annuelle recommandée par l'OMS pour qui est de $20 \mu\text{g m}^{-3}$, et la norme algérienne fixée par le décret exécutif n° 06-02 du 07 janvier 2006 qui est de $50 \mu\text{g m}^{-3}$. Sur les 27 prélèvements effectués, plus de 51 % dépassent la valeur journalière fixée par l'OMS ($50 \mu\text{g.m}^{-3}$). Ces niveaux relativement élevés peuvent être attribués essentiellement au trafic automobile important empruntant les axes de circulation se

trouvant au nord-ouest du site de mesure. Une comparaison avec les résultats de mesures faites dans autre villes dans des stations de type trafic montre également que les teneurs moyennes en PM10 mesurées au niveau de la cité Zouaghi sont en effet supérieures aux celles observées dans des villes européennes telles que Londres ($21 \mu\text{g m}^{-3}$), Paris ($11 \mu\text{g m}^{-3}$) et Madrid ($30 \mu\text{g m}^{-3}$), mais largement inférieures à celles de certaines villes des pays émergents connues pour leur forte pollution comme Beijing ($89 \mu\text{g m}^{-3}$), Delhi ($150 \mu\text{g m}^{-3}$) et le Caire (60 à $200 \mu\text{g.m}^{-3}$) (AIRPARIF, 2008).

Le cuivre :

La concentration moyenne de cuivre ($0.027 \mu\text{g.m}^{-3}$) reste nettement inférieure à celles enregistrées en 2011 (Terrouche et al, 2016). La valeur maximale du cuivre a été enregistrée le 08/07/2015 est $0.03 \mu\text{g m}^{-3}$ et La valeur minimale a été enregistrée le 20/06/2015 est $0.006 \mu\text{g m}^{-3}$. Ces valeurs peuvent être expliquées par l'absence de précipitations et surtout à la présence de feux de biomasse dans ce jour.

Le fer :

La concentration moyenne du Fe ($0.47 \mu\text{g m}^{-3}$) est de celles enregistrées. En Egypte, les concentrations de fer analysé dans des particules PM10 varient entre 1,2 et $6 \mu\text{g/m}^3$ dans six quartiers pollués du Caire (AbuAllaban et al, 2007). La concentration moyenne de Fe mesurée au niveau d'un carrefour au cœur d'un trafic important dans la ville de Madrid était de $1,93 \mu\text{g/m}^3$ (Salvador et al, 2004). La concentration moyenne de fer mesurée dans notre site est comparable à ces valeurs.

Il faut noter que le fer est parmi les éléments de l'écorce terrestre le plus abondant au niveau de cité Zouaghi, Il provient essentiellement de sources naturelles (usure des roches et du sol), car les sols nus et secs contribuent fortement à ces taux élevés.

Le zinc :

La teneur moyenne de zinc est de $0.01 \mu\text{g. m}^{-3}$. Ce teneur est plus bas que celle enregistrées au niveau d'un site à Madrid ($93 \mu\text{g.m}^{-3}$). La valeur maximale de zinc ($0.034 \mu\text{g.m}^{-3}$) a été enregistrée le 04/03/2015. où la vitesse moyenne du vent était la plus faible durant toute la période d'étude (3.14 m s^{-1}). Le zinc est un métal produit par l'usure des pièces mécaniques, des pneumatiques et des lubrifiants. 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 (Bencharif Madani, 2012).

Le cadmium :

Le cadmium n'est pas considéré comme traceur de la pollution liée au trafic urbain. Il provient de l'industrie de la céramique et des déchets miniers et industriels. Sa concentration pendant la période d'étude dans les PM10 est de $0,15 \text{ ng.m}^{-3}$. Cette valeur est négligeable par rapport, non seulement à la norme édictée par l'OMS qui est de 5 ng/m^3 , 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 à Constantine et qui vaut 20 ng.m^{-3} (Bencharif Madani, 2012) et à celle rapportée par Ali-Khodja et al. (2008) au niveau de l'APC de Didouche Mourad à Constantine du 2 Novembre 2002 au 28 Avril 2003 et qui est de 5 ng/m^3 . 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.

II.5. influence des paramètres météorologiques sur la concentration de PM10 :

Tableau 3: Coefficients de corrélation de PM10 avec les paramètres météorologiques

	Dir(°)	SPD (m/s)	H%	Précipitation (mm)	T (°C)	Pa (mmHg)
PM10 ($\mu\text{g/m}^3$)	-0.306	-0.274	-0.338	-0.295	0.302	-0.132

Les corrélations entre les PM10 et les paramètres météorologiques au niveau de cité Zouaghi sont résumés dans le tableau 3. La corrélation entre la concentration en PM10 et la température est de ($R=0.302$), Un temps chaud a tendance à favoriser les turbulences verticales et à disperser les fines particules issues des gaz d'échappement en altitude et. 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. Ainsi la température favorise l'assèchement du sol qui favorise la remise en suspension des particules dans l'air.

En remarque aussi une corrélation négatif entre les PM10 et la vitesse du vent ($R= -0.274$), cette relation peut s'expliquer par la dispersion des particules qui existe déjà dans l'air par le vent (effet de dilution).

La précipitation elle aussi influe sur la pollution particulaire d'une façon négative ($R = -0.295$), elle favorise la déposition des particules et défavorise la remise en suspension de ces derniers.

II.5.1. Influence de la Direction et la vitesse du vent sur la concentration de PM10 :

Les roses des vents peuvent aider à expliquer la variabilité des concentrations des PM10 observées dans la ville. Elles classent les directions et les vitesses du vent selon leurs fréquences.

La figure 3 illustre la rose des vents enregistrée à Zouaghi, Constantine, durant toute la période d'échantillonnage. Ce sont les vents faibles à modérés qui dominant, alors que les vents forts ne sont pas fréquents. Cependant, lors de conditions calmes (vitesse de vent $< 0,5$ m/s) qui sévissent 40.46% du temps au niveau du site d'étude, les concentrations de PM10 sont plus importantes du fait de la stabilité de l'atmosphère qui entraîne une accumulation des poussières. La direction de vent la plus fréquent est le nord avec une valeur de 23%. Les vents les plus forts ($>3,6$ m/s) proviennent souvent de l'ouest et de sud-ouest (Sahara), ce qui signifie que ces masses d'air sont toujours chargées de poussières Sahariennes.

La fréquence des vents calmes est proportionnelle à la concentration des PM10, car plus la fréquence des vents calmes est élevée plus la pollution de PM10 est importante puisque les vents calmes réduisent la dispersion des particules.

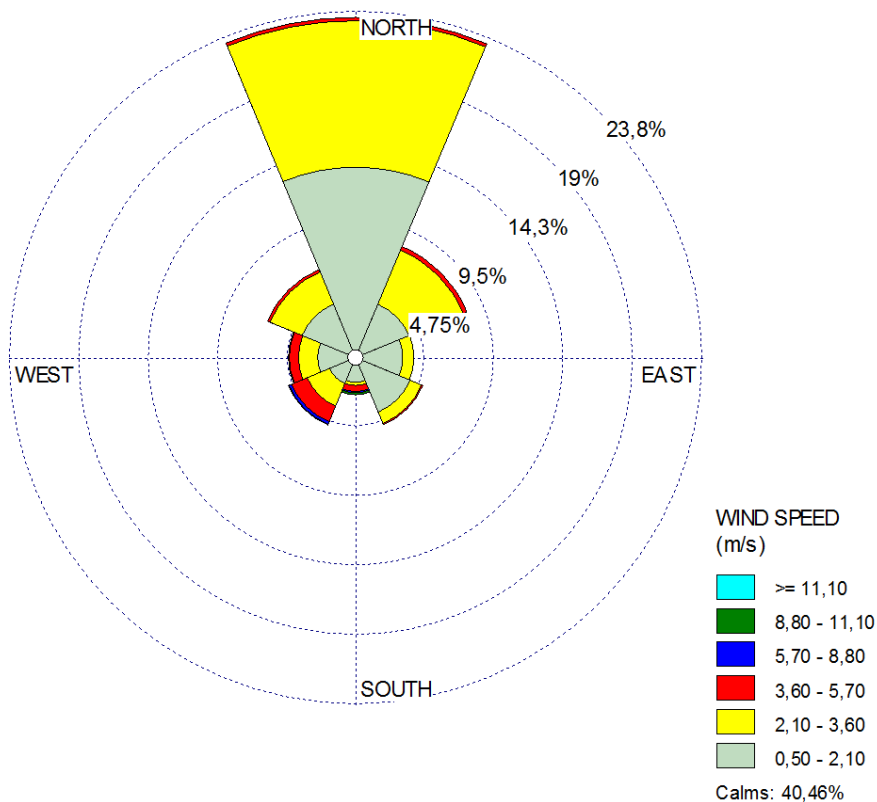


Figure 3: La rose des vents pour la période de mesure

II.6. utilisation des rétro trajectoires pour l'identification des sources lointaines :

Les trajectoires des masses d'air sont définies comme les chemins des infiniment petites particules d'air qui se déplacent à travers le temps et l'espace (Dutton, 1986).

Dans les systèmes météorologiques pertinents, les masses d'air peuvent transporter de grandes quantités des aérosols et des gaz polluants dans les régions éloignées. Pour cette raison, les trajectoires des masses d'air ont été fréquemment utilisées pour évaluer les voies de transport des polluants atmosphériques, notamment le transport à longue distance.

Toutefois, la précision d'une trajectoire individuelle est limitée par diverses incertitudes telles que les entrées météorologiques et les erreurs d'analyse, donc elle ne fournit qu'une approximation grossière de la voie de transport de la masse d'air (Abdalmogith *et al.* 2005).

Une enquête de résultats d'études précédentes utilisant différentes techniques suggère que les erreurs moyennes de trajectoires sont de l'ordre de 15-20% de la distance parcourue au bout de quelques jours (Stohl, 1998). Cependant, dans des situations d'écoulement critique, des erreurs allant jusqu'à 100% sont possibles. Comme une seule trajectoire ne peut pas être représentative de l'ensemble du volume de mesure (Stohl *et al.* 2002), un grand nombre de

trajectoires qui ont le même point d'arrivée peuvent être analysées statistiquement pour identifier les modes de transport atmosphérique (Borge *et al.* 2007).

L'analyse de regroupement (clustering) est un processus de structuration et de réduction des groupes de données en en identifiant ceux qui ont des éléments de données similaires (Han *et al.*, 2006). Il existe deux méthodes de regroupement : la classification hiérarchique qui peut être associative ou de division et le regroupement de partition. Les méthodes de classification d'agglomération construisent une hiérarchie dans un mode ascendant. Elles commencent par considérer chaque point de données comme un groupe. A chaque étape, elles fusionnent deux groupes en fonction des critères d'évaluation. En revanche, les méthodes de partitionnement de données commencent par un groupe qui contient tous les points de données. A chaque étape, chaque groupe se divise en deux jusqu'à ce qu'aucune autre division ne soit possible. Les méthodes de partitionnement essaient de trouver la meilleure partition de données dans un nombre prédéfini de groupes. Parmi ces méthodes, on trouve le partitionnement en k -moyennes (ou k -means en anglais). Les coordonnées x - y (c'est à dire les points de l'emplacement de la rétro trajectoire à chaque heure) sont utilisées en tant que variables d'entrée pour l'algorithme de groupement.

27 rétro trajectoires arrivant à Zouaghi à 12:00h ont été attribuées à 3 groupes en utilisant Le logiciel HYSPLIT qui utilise un modèle lagrangien de dispersion atmosphérique (Draxler *et al.* 2012) qui simule l'évolution d'une parcelle d'air dans un intervalle de temps positif (pour des prévisions) ou négatif (pour les rétro trajectoires). Pour cela, le modèle utilise les données météorologiques du NCEP (National Center for Environmental Prediction) de la NOAA qui assimile des données aussi bien conventionnelles que satellitaires dans son système d'assimilation des données globales (GDAS).

Les rétro trajectoires pour un temps de remontée de trois jours et avec 1 heure d'intervalle entre les différents points ont été calculées pour chaque jour à 12h00 à une altitude de 750 m au-dessus du sol, à Zouaghi, Constantine (16.8°N et 36.8°E) (Fig 4).

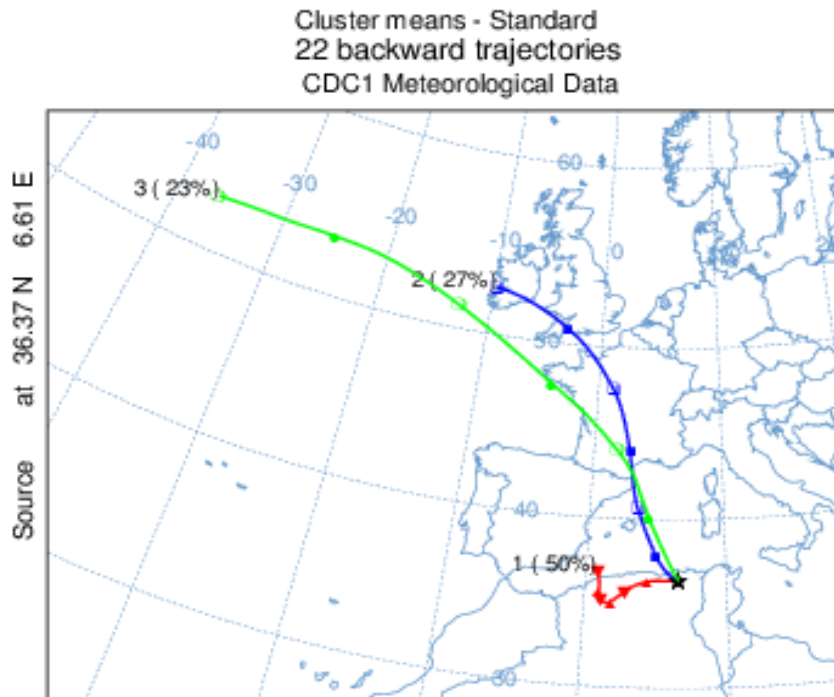


Figure 4 : Rétro-trajectoires moyennes de chaque groupe des rétro trajectoires (Le pourcentage de rétro trajectoires dans chaque groupe est également inclus).

Ces rétro trajectoires sont classées en fonction de leur origine (locale, maritime,) et selon leur distance (rapide, lente).

La figure 4 représente les rétro trajectoires moyennes pour chaque groupe modélisé par Hysplit pour un temps de remontée de 03 jours. Trois rétro trajectoires moyennes représentant 27 trajets modélisés des parcelles arrivant sur le site de mesure ont été identifiées. Les trajets dominants de ces dernières traversent une partie de l'Europe occidentale et la mer méditerranée. Il représente 27% et 23% des rétro trajectoires modélisées. Le troisième trajet provient de l'ouest de Constantine il représente 50% de la totalité des retro trajectoires.

D'après le tableau 4, les masses d'air les plus chargées de PM10 sont de type local, qui travers des zone désertique située un peut au sud-ouest, donc elle transporte des poussières riches en éléments terrigènes comme le fer ($0.72 \mu\text{g.m}^{-3}$), le cuivre ($39.51 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Les masses d'air d'origine marine (groupe 2 et 3) renferment des éléments d'origine maritime comme le Na (0.53 et $0.4 \mu\text{g.m}^{-3}$ respectivement), donc on peut dire que la mer méditerranée est la principale source de sodium.

Tableau 4: Concentrations moyennes de PM10 et de quelques éléments dans chaque groupe

		Groupe1	Groupe2	Groupe 3
Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10	74.09	49.48	696.39
	Al	1.14	0.33	35.34
	Ca	7.39	4.04	0.24
	Fe	0.72	0.26	2.08
	K	0.38	0.12	0.20
	Mg	0.42	0.19	0.12
	Na	0.43	0.32	0.20
	S	0.84	0.39	1.07
	Cr	3.96	2.00	0.42
	Mn	11.91	3.98	1.52
	Co	0.27	0.10	0.07
	Ni	2.57	1.42	1.62
	Cu	39.51	13.64	15.82
	Zn	13.29	8.95	8.34
	Pb	80.87	37.85	55.53

Conclusion

Cette étude nous a permis de connaître les niveaux des particules PM10 et de quelques métaux lourds qui leurs sont associés à Constantine. La quantification des PM10 a révélée des concentrations supérieures aux normes internationales, la concentration moyenne des PM10 enregistrées au cours de la période d'étude est deux fois supérieure à la valeur guide recommandée par l'OMS qui est de $20 \mu\text{g m}^{-3}$.

- ✓ Les concentrations de la majorité des éléments chimiques mesurés sont très élevées comparées aux normes internationales (valeurs guides de l'OMS, normes européennes, normes américaines) rapportées dans la littérature.
- ✓ La mer Méditerranée a été identifiée comme la principale source de sodium.
- ✓ Le fer est d'origine crustale, soit à partir de sources proches telles que les terres entourant le site ou de sources lointaines telles que le Sahara au sud.
- ✓ Le trafic est à l'origine des niveaux élevés observés de Pb qui est encore utilisé dans le carburant essence en Algérie.

Références bibliographiques

Abdalmogith, S., & Harrison, R. (2005). The use of trajectory cluster analysis to examine the long-range transport of secondary inorganic aerosol in the UK. *Atmospheric Environment*(39), 6686-6695.

Abu-Allaban, M., Lowenthal, D., Gertler, A., & Labib, M. (2007). Sources of PM10 and PM2,5 in Cairo. *Environmental Monitoring and Assessment*, 133, 417-425.

Affsset(2006), <<les nanomatériaux:effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement,248p.

Albin M, (1998), Encyclopédie Universalis, (1998), Paris.

AIRPARIF. (2008). Synthèse des connaissances sur les particules en suspension dans l'air et des travaux d'airparif sur ces polluants. Paris.

Air quality and deposition of trace elements in Didouche Mourad, Algeria. *Environ. Monit.*

Assess. (2008) 138: p. 219–231.

Ait-ali L & Labii A, (2010), « Simulation de l'évaluation et du captage du CO2 émis par une cimenterie d'Alger » mémoire d'ingénieur, Université de d'Alger.

Ali-Khodja, H. Belaala, A. Demmane-Debbih, W, Habbas, B et Boumagoura, N. (2008).

Artinano B, Salvador P., Alonso D.G., Querol, X. & Alastuey, A. (2004). Influence of traffic on the PM10 and PM2,5 urban aerosol fractions in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 334–335, 111– 123.

Bonnard N & al, (2000), « Cobalt et composés minéraux », INRS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), fiche toxicologique N° 128.

Borge, R, Lumbreras, J., Vardoulakis, S., Kassomenos, P., & Rodriguez, E. (2007). Analysis of long-range transport influences on urban PM10 using two-stage atmospheric trajectory clusters. *Atmospheric Environment*(41), 4434-4450.

Carlson, T, & Prospero, J. (1972). The large scale movement of Saharan air outbreaks over the northern equatorial Atlantic. *Journal of Applied Meteorology*, 11, 283-297.

Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique CITEPA « la

pollution atmosphérique en bref. Différentes échelles de la pollution », mise à jour 14/12/2010 disponible sur (<http://www.citepa.org/>)

Christner, B. C., & Morris, C. E. (2008). Ubiquity of biological ice nucleators in snowfall. *Science*, 319, 1214....Pöschl, U., & Martin, S. T. (2010). Rainforest aerosols as biogenic nuclei of clouds and precipitation in the Amazon. *Science*, 329, 1513–1516.

Delno Dockery DW. RJ, Sioutas C, Malik S. Potential role of ultrafine particles in associations between airborne particle mass and cardiovascular health. *Environ Health Perspect* 2005; 113: 934_946.

Draxler, R. R., & Rolph, G. D. (2012). HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory.

Dutton, J. A. (1986). *The Ceaseless Wind an Introduction to the Theory of Atmospheric Motion*. New York: Dover.

Fernández-Camacho, R., Rodríguez, S., de la Rosa, J., Sánchez de la Campa, A., Alastuey, A., Querol, X., . . . Nava, S. (2012). Ultrafine particle and fine trace metal (As, Cd, Cu, Pb and Zn) pollution episodes induced by industrial emissions in Huelva, SW Spain. *Atmospheric Environment*, 61, 507–517.

Filleul L, Le Tertre A, Baldi I, Tessier J. Difference in the relation between daily mortality and air pollution among elderly and all-ages populations in southwestern France. *Environ Res* 2004; 3: 249_53

Jacob, D.J, W. Pennell, 2009. Climate – air quality interactions, *in* NARSTO Multipollutant Accountability Assessment, G. Hidy et al., eds., sous presse.

Jacob, D.J, R.A. Winner, 2009. Effect of climate change on air quality, *Atmos. Environ.*, **43**, 51-63.

Jaenicke, R, Matthias-Maser, S., & Gruber, S. (2007). Omnipresence of biological material in the atmosphere. *Environmental Chemistry*, 4, 217–220.

Han, J, & Kamber, M. (2006). *Data Mining: Concepts and Techniques*. Los Altos: CA: Morgan Kauffman.

Kerbachi, R., Oucher, N. B., Berkouki, N., Demri, B., Boughedaoui, M., & Joumard, R. (2009). Pollution par les particules fines dans l'agglomération d'Alger. Ghardaïa, Algérie: Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents.

Lacour S, (2001), Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique CEREAA (<http://cerea.enpc.fr/fr/>).

Lepicard, D. & Berlancourt A. Plan de protection de l'atmosphère. Haute Normandie. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2014_01_30_PPA_HN_approuve-2.pdf, 27/11/2013.

Lozano, N. P. (2007). Variability of atmospheric particulate matter at an urban and a regional background in NE Iberian Peninsula. Thèse de doctorat, Departament de Geociències Ambientals Institut de Ciències de la Terra *Jaume Almera* Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Programa de Doctorat en Ciències Ambientals Institut de Ciència y Tecnologia Ambientals Universitat Autònoma de Barcelona (p 12).

Masclet p., Cahier H.(1998),<<L'aérosol atmosphérique.caractéristiques physico-chimiques>>,Techniques de l'ingénieur ,extrait de la collection,10 ,RE 11-à 21

Meddour-Sahar, O., & Bouisset, C. (2013). Les grands incendies de forêt en Algérie : - problèmes humains et politiques publiques dans la gestion des risques. *Journal of Mediterranean geography*, 33-40

Morawska L, Moore MR, Ristovski ZD. Health impacts of ultra_ne particles. Desktop literature review and analysis. Canberra: Department of the Environment and Heritage; 2004.

Mészáros, E. (1999). *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. Akadémiai Kiado.

Oberdorster G, Oberdorster E, Oberdorster J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultra_ne particles. *Environ Health Perspect* 2005; 113(7): 823_39.

Pope CA, Dockery DW. Health effects of ne particulate air pollution: lines that connect. *Air & Waste Manage. Assoc* 2006; 56: 709-742.

Pope CA III, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, et al. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general path physiological pathways of disease. *Circulation* 2004, 109: 71_77.

Putaud, J, Raes, F., Van Dingenen, R., Brüggemann, E., Facchini, M., Decesari, S. . . . Brinkj, H. (2004). A European aerosol phenomenology—2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmospheric Environment*, 38, 2579–2595.

Putaud JP, Blanchard O, Boulaud D, et al. MØtrologie : la mesure des caractØristiques de l'aØrosol liØes aux impacts locaux et rØgionaux. In : Ebner P, Le Moullec Y, Weill A, eds. Pollution par les particules atmosphØriques : Øtat des connaissances et perspectives de recherche. Paris : La Documentation Franaise, 2005.

Pöschl, U, & Martin, S. T. (2010). Rainforest aerosols as biogenic nuclei of clouds and precipitation in the Amazon. *Science*, 329, 1513–1516.

Prospero, J. (1999). Long range transport of mineral dust in the global atmosphere: impact of African dust on the environment of the south-eastern United States. *Proceedings of the National Academy of Science*, 96, 3396-3403.

-Ramade F, (2000)., « les polluants de l'environnement et de l'homme» dictionnaire Encyclopédique des pollutions, Ediscience international, Paris, pp.13, 33, 424

Salvador, P, Artinanoa, B., Alonso, D.G., Querol, X., & Alastuey, A. (2004). Identification and characterisation of sources of PM10 in Madrid (Spain) by statistical methods. *Atmospheric Environment*, 38(3), 435–44

Stohl, A. (1998). Computation, accuracy and applications of trajectories a review and bibliography. *Atmospheric Environment*(32), 947-966.

Stohl, A, Eckhardt, S., Forster, C., James, P., Spichtinger, N., & Seibert, P. (2002). A replacement for simple back trajectory calculations in the interpretation of atmospheric trace substance measurements. *Atmospheric Environment*(36), 4635–4648.

Subra P, (2001), Le transport routier en France: aspects géopolitiques d'une question environnemental. « Ecologie et géopolitique», France.

Terrouche A, Ali-Khodja H, Kemmouche A, Bouziane M, Derradji A, Charron A (2016) Identification of sources of atmospheric particular matter and trace metals in Constantine, Algeria. *Air Qual Atmos Health* 9:69–82. doi:101007/s11869–014–0308-1

:(<http://www.irceline.be/fr/documentation/faq/que-sont-des-particules-primaires-et-secondaires>20:31,22/04/2018))

U.S. Department of Energy. (1997). Emissions of Greenhouse Gases in the United States. Washington, DC: Office of Integrated Analysis and Forecasting

Van Staëvel, E. (2000). Cultures environnementales contemporaines et pollution. Rencontres européennes pour une histoire de l'environnement. France: Clermont Ferrand.

Wilson R, Spengler JD [Eds]. Particles in our air. Concentrations and health effects. Cambridge: Harvard University Press, 1996.

(http://environnement.wallonie.be/rapports/dppgss/air1999/intro/1_5.htm
24.03.2018 ;14 :42)

(<http://www.irceline.be/fr/documentation/faq/que-sont-des-particules-primaires-et-secondaires>20:31,22/04/2018))

ملخص

في الجزائر يتطور التحضر واستعمال المركبات بسرعة ، حيث تم الاهتمام مؤخرا بتدهور نوعية الهواء ومضايقاته ، ولم يكن تلوث الجسيمات الدقيقة محل اهتمام خاص.

الهدف من عملنا هو قياس التلوث بالجسيمات الدقيقة PM10 في موقع حضري (زواغي) وتحديد المصادر المحتملة لهذا التلوث.

ولتحديد المصادر الخارجية وأصلها الجغرافي ، تم حساب الكتل الهوائية بواسطة النموذج HYSPLIT4. وقد حددت النتائج : الغبار الصحراوي كمصدر رئيسي للجسيمات PM والحديد Fe وقد تم تحديد البحر الأبيض المتوسط كمصدر رئيسي للصوديوم Na.

الكلمات المفتاحية: PM10, تلوث الهواء, المسار العكسي للهواء.

Résumé

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.

L'objectif de notre travail est de quantifier la pollution par les PM₁₀ au niveau d'un site urbain (Zouaghi) et d'identifier les sources potentielles de cette pollution.

Pour identifier les sources externes et leur origine géographique, des rétrotrajectoires de masses d'air ont été calculées avec le modèle HYSPLIT4. Les résultats ont permis d'identifier les poussières désertiques en tant que source importante de PM et de Fe. La mer Méditerranée a été identifiée comme la principale source de Na.

Mots clés : pollution de l'air, PM10, rétrotrajectoires.

Summary

In Algeria, where urbanization and motorization are developing rapidly, the degradation of air quality and nuisances have already been perceived and the pollution by fine particles has not been the subject of particular attention.

The objective of our work is to quantify PM₁₀ pollution at an urban site (Zouaghi) and to identify potential sources of this pollution.

To identify the external sources and their geographical origin, back trajectory of air masses were calculated with the model HYSPLIT4. The results have identified desert dust as a major source of PM and Fe. The Mediterranean Sea has been identified as the main source of Na.

Key words: air pollution, PM10, back trajectory.

