

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE « Abbes LAGHROUR » DE KHENCHELA



FACTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département Sciences de la matière

N° de série :.....

Mémoire de fin d'études

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

Spécialité : chimie analytique et environnement

*Utilisation de l'analyse factorielle (AF) pour identifier les sources
de pollution particulaires dans un site urbain*

Réalisé par: Fahloul djamal

Devant le jury :

Examineur : Prof.KERTIOU Noureddine

Examineur : Prof.SAMAI Salima

Rapporteur : Dr.TERROUCHE Ahmed

Présenté le :.....

Année Universitaire : 2016-2017

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant pour son guide et sa protection.

*Nous tenons tout particulièrement à exprimer nos sincères remerciements à **Dr.TERROUCHE Ahmed** qui a dirigé ce travail. Pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance.*

Nous remercions également tous les ingénieurs et les techniciens du laboratoire de l'université Abbes Laghrour- Khenchela, qui par leur gentillesse, leur modestie, leur aide, leurs conseils et leur encouragement, ont fortement contribué à la réalisation de ce travail.

A nos enseignants toutes les expressions de respect et de gratitude.

Nous remercions par ailleurs l'ensemble des membres du jury de vouloir accepter, d'examiner ce travail et d'assister à la soutenance de nos mémoire

M. KERTIOU Noureddine

Examinateur

M^{me} . SAMAI Salima

Examinateur

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué près ou de loin à l'aboutissement de notre projet.

Dédicace

Grace à DIEU le tout puissant

Je suis arrivé à terme de cet humble travail

Que je dédie en premier lieu :

A celle qui m'a mis au monde « MA MERE ».

A ce qui m'a donné un nom « MON PERE »

*A tous les deux, les plus chers de ma vie qui m'ont donné
l'éducation dont je suis fière et qui n'ont j'amaï cessé
de m'encourager*

A tous ceux qui me sont chers :

*À tous mes frères et sœurs, ainsi que leurs
enfants particulièrement :*

siradj. kahina.. malek. Imen.Meriem. hadjar

A tous mes amis qui m'ont encouragés et soutenus :

Hamza.Oussama.khaled.moussa

Aussi a tous mes collègues

Zinou.Abd Errazak.Mahmoud.adil.salah.hakim

*A tous les étudiants de ma promotion M2 chimie analytique et
enviroment 2016/2017*

Je dedie ce modeste travail.

djamal

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Chapitre I. Etude bibliographique

Introduction	1
1. Définitions des particules atmosphériques	3
2. Classification des particules	3
2.1. Classification des particules selon leurs tailles	3
2.2. Classification des particules selon leurs sources	3
2.2.1. Les particules d'origines naturelles	3
2.2.1.1. Transport lointain des poussières désertiques	3
2.2.1.2. Les aérosols marins	4
2.2.1.3. Les aérosols volcaniques	4
2.2.1.4. Les aérosols biologiques	5
2.2.1.5. Les feux de végétation	5
2.2.2. Les particules d'origine anthropique	5
2.2.2.1. Les aérosols industriels	5
2.2.2.2. Le transport	5
2.2.2.3. L'agriculture	6
2.2.2.4. Le brûlage de la biomasse	6
2.3 Classification des particules selon leurs mécanismes de formation	7
2.3.1 Les particules primaires	7
2.3.2 Les particules secondaires	7
3. Durée de vie des aérosols et les processus d'élimination	8
4. Les effets des particules atmosphériques sur la santé	8
4.1 Effets cardiovasculaires	9
4.2 Effets respiratoires	10
4.3 Effets sur la grossesse	10
5. Les effets des particules atmosphériques sur le bâti et les écosystèmes	11
6. Les effets des particules atmosphériques sur le climat	12
7. Recommandations et législations des émissions des particules	12

Chapitre II. Matériels et méthodes

1. Matériels et méthodes	14
1.1. Description des sites	14
1.2. Mesure des particules fines	15
1.3. L'analyse factorielle	16
1.4. le logiciel SPSS 2.0	18
2. Concentration moyenne de PM10 et quelques métaux lourds pour le site 1	20
3. Relation entre les concentrations de particules avec les variables météorologiques	22
4. Traitement des données météorologiques	23
5. Application de l'analyse factorielle pour identifier les sources de pollution	25
Conclusion générale.	27

Liste des figures

Figure 1: Sites de prélèvement de la cité Zouaghi

Figure 2 : Le collecteur de poussières (TAS)

Figure 3 : Les nuages de points

Figure 4 : Les formes de nuages de points

Figure 5 : Estimation du modèle d'A.F. avec SPSS

Figure 6 : matrice des composants

Figure 7 : Rose des vents entre le 23/03/2015 et le 06/07/2015

(Les vecteurs indiquent la direction de provenance du vent)

Figure 8 : Distribution des fréquences des classes de vent

Liste des abréviations

Airparif	Association de surveillance de la qualité de l'air en France
Ca	Calcium
Cu	Cuivre
Fe	Fer
K	Potassium
Mg	Magnésium
Na	Sodium
NOX	Oxydes d'azote
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PM	Particulate Matter
PM 1	Particulate Matter (aérosol de diamètre < 1 µm)
PM10	Particulate Matter (aérosol de diamètre < 10 µm)
PM2,5	Particulate Matter (aérosol de diamètre < 2,5 µm)
USEPA	United States Environmental Protection Agency
Zn	zinc
IGEAT	Institute Management De L Environnement Et D Aménagement Du Territoire
O3	Ozone
COV	Composés Organiques Volatils
TAS	Tactical Air Sampler
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Résumé statistique du PM10 et de quelques métaux importants pour la période mars 2015-juillet 2015.

Tableau 1 : Coefficients de corrélation de PM10 et quelques métaux avec les paramètres météorologiques

Tableau 3 : Matrice des composantes après rotation (Varimax avec normalisation de Kaiser).

Introduction générale

La pollution de l'air est la présence de substances dans l'air en quantités suffisantes pour conduire à des effets néfastes qui nuisent à la santé humaine, la végétation et l'environnement. Elle s'est accrue au cours des dernières décennies. Il serait inutile d'attribuer cette croissance à un type particulier d'activités industrielles. C'est en fait la résultante de multiples facteurs qui caractérisent la civilisation moderne : accroissement de la production d'énergie, de l'industrie métallurgique et chimique, des tonnages d'ordures incinérées et de la circulation routière et aérienne (Ramade, 1982). La pollution atmosphérique est l'une des inquiétudes majeures en terme d'environnement et donc de qualité de vie. La volonté de résoudre ce problème général est marquée à la fois par une notion de temps et de type de polluants rejetés.

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

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

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

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

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 km² pour une population estimée à 1,25 millions d'habitants soit une densité de l'ordre de 652 habitants / km², 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.

Nous estimons que la circulation automobile est une source importante de particules dans la ville de Constantine. Pour cela et pendant une période qui s'étale du 02 avril 2015 au 06 juillet 2015, des prélèvements des PM₁₀ sont effectués, dans deux sites différents, par le laboratoire de la pollution et traitement des eaux, université Constantine 1, à l'aide de collecteur TAS (Tactical Air Sampler) installés dans le campus universitaire « Zouaghi Slimane ». Le collecteur est exposé à une forte circulation automobile.

CHAPITRE I

Etude bibliographique

1.Définitions des particules atmosphériques

Un aérosol atmosphérique est une suspension de particules solides ou liquides dans l'air atmosphérique, autres que les gouttelettes ou les cristaux qui constituent primordialement un nuage. En fonction du mode de formation des particules, on distingue deux types d'aérosols atmosphériques : les aérosols atmosphériques primaires et les aérosols atmosphériques secondaires (on omettra par la suite l'adjectif « atmosphérique », aucune confusion ne pouvant être faite avec d'autres types d'aérosols comme par exemple les suspensions dans les gaz).

2.Classification des particules

2.1.Classification des particules selon leurs tailles

Les particules sont un ensemble très hétérogène de composés du fait de la diversité de leur composition chimique, de leur état (solide ou liquide) et de leur taille (caractérisée notamment par leur diamètre).

Les particules sont différenciées selon leur taille:

- les PM10 : des particules en suspension dans l'air, d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres.
- les PM2.5 : dont le diamètre est inférieur à 2,5 micromètres, appelées « particules fines »
- les PM1 dont le diamètre est inférieur à 1 micromètre, appelées « particules très fines »
- les PM0,1 dont le diamètre est inférieur à 0,1 micromètre, appelées « particules ultrafines» ou «nanoparticules ».

2.2.Classification des particules selon leurs sources

2.2.1.Les particules d'origines naturelles

2.2.1.1.Transport lointain des poussières désertiques

Le Sahara est considéré comme un exemple typique d'une zone de désert chaud où la pluie est extrêmement rare. Dans les environnements avec des niveaux de précipitations extrêmement faibles et des températures moyennes très élevées (> 50 ° C en été), les épisodes massifs de la remise en suspension des poussières sont courants, conduisant à des niveaux de PM élevés dans l'air (poussières africaines).

Le réchauffement de la surface, pendant la journée, conduit à de fortes turbulences thermiques verticales qui peuvent atteindre, en été, une altitude de 4000 à 5000 mètres

(Dubief, 1979)

. Ces turbulences sont généralement suivies par des périodes de stabilité nocturne. Ce cycle inhibe le dépôt de particules en suspension qui sont propulsées à des hauteurs atmosphériques considérables (Moulin et al., 1998), laissant place à une suspension plus prolongée de ces particules, à ces altitudes, durant des semaines ou même des mois. Ces poussières émises dans l'air (dry smog) peuvent être transportées sur de longues distances par des mécanismes atmosphériques.

2.2.1.2. Les aérosols marins

Les émissions de particules marines sont une des sources principales d'émissions primaires naturelles d'aérosols. Les aérosols marins primaires résultent de l'éclatement de bulles à la surface des océans et des embruns marins créés sous l'action du vent. Ils ont un impact significatif sur le bilan radiatif terrestre, sur les cycles biogéochimiques, sur les écosystèmes et la qualité de l'air dans les régions côtières. Ils sont composés majoritairement de sels marins inorganiques contenant des éléments majeurs : chlore (55% en masse), sodium (31%), sulfates (8%), magnésium (4%), calcium (1%) et potassium (1%) (Seinfeld et Pandis, 1998). Ils contiennent également de la matière organique (Blanchard 1964, Hoffman et Duce, 1976) qui peut contribuer significativement à la masse de particules fines observées dans la couche limite marine (Putaud et al., 2000). Cavalli et al. (2004) et O'Dowd et al. (2004) ont montré que la fraction organique des aérosols marins se trouve plutôt dans le mode fin alors que le mode grossier est constitué très majoritairement par des espèces inorganiques. Ces mêmes auteurs précisent que la fraction organique représente 40 à 60% de la masse d'aérosols fins pendant les périodes de forte activité biologique et seulement 10 à 15% en période de faible activité biologique. La fraction soluble du carbone organique des aérosols marins contient des composés aliphatiques et partiellement oxydés (notamment des acides carboxyliques) et des HULIS (O'Dowd et De Leeuw, 2007).

2.2.1.3. Les aérosols volcaniques

L'aérosol volcanique est injecté dans l'atmosphère, non pas de façon continue comme les deux précédents, mais par bouffées. Il est constitué de métaux et de sulfates provenant de la conversion du SO₂ gazeux, émis en abondance par les volcans. Cet aérosol se retrouve principalement dans la stratosphère, car la force de propulsion verticale est très forte. Les apports troposphériques sont faibles et on ne prendra pas en compte cette source.

2.2.1.4. Les aérosols biologiques

Les aérosols biologiques sont omniprésents dans l'atmosphère et on peut y trouver des fragments d'organismes vivants ou morts, 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 & Morris, 2008 ; Pöschl et al., 2010).

2.2.1.5. 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-Sahar et al., 2013).

Les feux de forêt ont un effet prononcé sur la qualité de l'air local et régional. Les émissions correspondantes comprennent des polluants primaires (PM, CO, NOx, O3) et des aérosols organiques secondaires, se formant dans l'atmosphère, lorsque des composants gazeux tels que les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et les NOx, sont libérés par les incendies et ont subi un processus photochimique (Urbanski et al., 2008).

2.2.2. Les particules d'origine anthropique

2.2.2.1. Les aérosols industriels

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 (La maison, 2006).

L'industrie est une source d'émission tant des PM2.5 que des PM10. 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).

2.2.2.2. Le 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 PM10 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). Les sources de particules liées au transport sont diverses :

- La combustion dans le moteur : les émissions de particules venant du carburant diesel produisent de nombreuses particules ultrafines, principalement composées de matière organique et de carbone élémentaire. On peut y déceler des éléments cristallins (Al, Fe, Ca) et des éléments en traces (Ag, Ba, Cd, Pb...) (Wrang et al ,2003). Les éléments métalliques les plus abondants dans les émissions des moteurs à essence semblent provenir des huiles lubrifiantes : Fe, Ca et Zn, les éléments Pb, Sb, Br et Mn seraient émis par les moteurs.
- La remise en suspension de particules déposées au sol, on retrouve principalement des particules d'origine minérale : Al, Ca, K, Fe, Mn, Mg, Si, et Ti.
- L'usure mécanique des différents constituants des véhicules entraîne l'émission de métaux.
- Les freins, les pneumatiques, les disques d'embrayage et l'emploi de liquides (lubrifiants, huile dégraissage) sont autant de sources de métaux (La maison, 2006).

2.2.2.3. L'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].

2.2.2.4. Le brûlage de la biomasse

La combustion de la biomasse est la principale source du carbone noir (BC) émis dans l'atmosphère. Elle est responsable de 42% des émissions mondiales de ce polluant, tandis que les combustibles fossiles et les biocarburants en émettent 38% et 20%, respectivement (Bond et al., 2004). En plus du carbone noir, la combustion de la biomasse est également une source importante de gaz à effet de serre (Cicerone, 1994). Les émissions issues de la combustion de la biomasse affectent non seulement la qualité de l'air urbain et régional, mais aussi, ont des effets importants sur le bilan radiatif de l'atmosphère. On estime, par exemple que la contribution du carbone noir au réchauffement climatique dans l'Arctique depuis 1890 est de 1,9 °C (Shindell et al., 2009).

Les épisodes de pollution de l'air causés par la combustion de la biomasse sont souvent accompagnés de niveaux élevés de polluants traceurs. Par exemple, le taux de carbone organique (CO) issu de la combustion de la biomasse est environ deux fois plus important que celui provenant de la combustion de carburants fossiles, à l'échelle mondiale (Holloway et al., 2000). Le rapport de variation du taux de carbone noir et organique a souvent été utilisé pour confirmer si la combustion de biomasse est une origine éventuelle de la pollution. Un rapport de $\Delta BC/\Delta CO$ élevé est un indicateur d'une combustion de la biomasse. D'autre part, le rapport K^+/CO a été utilisé pour distinguer la combustion de biomasse, des différentes autres sources de CO. En outre, de nombreux chercheurs ont utilisé des traceurs organiques comme indicateurs de combustion de la biomasse. Au cours de deux épisodes de pollution par la combustion de biomasse, (Zhang et al. 2010) ont constaté à Guangzhou en Chine, pendant l'été 2006, une accumulation de lévoglucosane ($C_6H_{10}O_5$) et de potassium. (Yuan et al. (2010) ont utilisé l'acétonitrile (C_2H_3N) comme traceur, pour identifier les épisodes de pollution due à la combustion de biomasse.

2.3. Classification des particules selon leurs mécanismes de formation

2.3.1. Les particules primaires

Les particules primaires sont émises directement dans l'air atmosphérique depuis une source quelconque, située au sol, sur la surface de la mer ou dans l'atmosphère. Ils ne sont donc pas formés dans l'atmosphère à l'issue d'un processus physique et chimique. Exemples : poussières des roches, embruns, cendres provenant d'une éruption volcanique, émissions anthropiques (fumées d'usines, rejets divers de particules...).

2.3.2. Les particules secondaires

Les particules secondaires sont obtenue par une réaction physicochimique du gaz atmosphérique. Il s'agit plus précisément de la transformation d'une phase gazeuse en une phase condensée (liquide ou solide) accompagnée de l'apparition d'inclusions de noyaux de la phase condensée dans la phase gazeuse : ce processus s'appelle *nucléation* à partir d'un précurseur gazeux. Il existe aussi une nucléation accompagnant la transformation d'une phase liquide en une phase solide (cristallisation), ou d'une phase liquide en une phase gazeuse (formation de bulles), le précurseur étant alors le liquide, mais le mécanisme de base de l'apparition des aérosols secondaires dans l'atmosphère est la nucléation avec précurseur gazeux.

3. 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). Les dépôts sec et humide diminuent le temps de séjour des particules dans la troposphère. 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 μ m). 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 PM > 20 μ m à 2-4 jours pour les particules de 2-3 μ m de diamètre), alors que les particules d'une taille comprise entre 0,1 et 1 μ m 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).

4. Les effets des particules atmosphériques sur la santé

Les particules ont plus d'effets sur la santé que tout autre polluant parce qu'elles pénètrent dans le corps par le système respiratoire. Plus elles sont fines, plus elles sont dangereuses pour la santé car elles peuvent pénétrer plus profondément dans les poumons. Ainsi, celles d'un diamètre supérieur à 10 μ m sont expulsées des voies respiratoires. Par contre, celles de 3 à 10 μ m se déposent au niveau de la trachée et des bronches. Celles de moins de 3 μ m pénètrent dans les alvéoles pulmonaires et peuvent passer dans le sang et contaminer le fœtus par exemple. Dans les PM10, il y a entre 45 et 65 % de PM2,5 [Service public de Wallonie, 2009]. Des études scientifiques montrent aussi qu'une exposition de longue durée

à des niveaux moyens de particules fines est nettement plus préjudiciable pour la santé qu'une exposition passagère à des niveaux élevés (IEW, 2009). Ainsi, plus de 80 % des décès liés aux particules sont dus à l'exposition chronique. Pour cela on distingue deux types d'effets : les effets à court et à long terme.

4.1. Effets cardiovasculaires

L'athérosclérose est généralement reconnue comme un processus inflammatoire qui est étroitement lié à un dérèglement du fonctionnement de l'endothélium vasculaire. La perte de l'intégrité de l'endothélium conduit à une perturbation des mécanismes de coagulation sanguine et à une libération de médiateurs de l'inflammation ainsi que de facteurs de croissance. Une inflammation chronique va être à l'origine de l'induction de plaques d'athérome et de dommages artériels et peut conduire à l'infarctus du myocarde.

Comment peut-on expliquer qu'une exposition à des particules atmosphériques peut induire de tels dysfonctionnements ? Tout d'abord, les effets à court terme d'une augmentation de la concentration atmosphérique en PM10 induit la modification de divers paramètres sanguins tels que la viscosité du plasma, et les facteurs de coagulation du sang. Ces perturbations ont été attribuées à une inflammation systémique résultant de l'inflammation pulmonaire induite par les particules. Cependant, des études réalisées sur des volontaires soumis à des échappements Diesel dilués (Mills et al, 2005) montraient une perturbation de la réponse vasomotrice pouvant s'expliquer ou par le stress oxydant associé à l'inflammation pulmonaire ou par la présence de particules dans le flux sanguin. Ce passage dans le sang des particules par translocation est vraisemblable comme nous l'avons vu plus haut, cependant, il n'a pas été prouvé chez l'homme et il faut être prudent avec les extrapolations de l'animal à l'homme. Dans l'hypothèse d'un passage des particules dans le sang, elles pourraient avoir des effets directs sur les cellules endothéliales, les plaquettes sanguines et les plaques d'athérome et être ainsi directement à l'origine des accidents cardiovasculaires dont l'incidence est augmentée lors des pics de pollution particulaire. Les particules les plus fines seraient plus dangereuses pour le système cardiovasculaire car elles sont en plus grand nombre pour une masse plus faible, elles comportent une quantité plus grande de composés à activité redox à leur surface et elles ont une rétention pulmonaire plus longue (Araujo and Nel, 2009).

Plusieurs études animales ont rapporté le rôle du polymorphisme pour certains gènes dans l'expression de médiateurs intervenant dans les phénomènes inflammatoires. Le rôle du polymorphisme génétique a été souligné par Hamade et Tankersley au cours d'une étude

sur la co-exposition PM et ozone chez plusieurs souches différentes de souris (Hamade and Tankersley, 2009). Les résultats suggéraient que des facteurs génétiques propres aux différentes souches déterminaient la réponse et l'adaptation des systèmes cardiovasculaire et respiratoire à des expositions répétées des deux co-polluants.

4.2. Effets respiratoires

Les particules atmosphériques sont responsables d'une réponse inflammatoire au niveau des poumons. Elles peuvent jouer un rôle d'adjuvant dans la survenue de crises d'asthme en interaction avec les allergènes. Elles peuvent aggraver la bronchite chronique en maintenant une inflammation des voies aériennes. Enfin, elles sont associées à l'augmentation du risque de cancer bronchique. Depuis dix ans, des progrès importants ont été réalisés dans la compréhension des effets cardiovasculaires bien que des zones d'ombre subsistent encore (Brook et al, 2010). Les questions posées ont porté sur les effets systémiques de ces particules et leur capacité à franchir la barrière alvéolaire et à se retrouver dans le sang. Un autre aspect très étudié concerne la réponse inflammatoire induite dans les poumons et ses potentiels effets adverses à distance, en particulier au niveau du système cardiovasculaire.

4.3. Effets sur la grossesse

Une association entre l'exposition prénatale à l'air pollué et la diminution du poids des nouveaux nés, en particulier les garçons, a été rapportée dans quelques études épidémiologiques antérieures. D'autre part, Jedrychowski et al., (2009) ont rapporté l'existence d'une relation significative entre les niveaux de PM_{2,5} mesurés dans l'air et la diminution du poids des nouveau-nés mâles. Dans une autre étude européenne récente multicentrique, Pedersen et al. (2013) ont associé l'exposition prénatale aux PM_{2,5} et la diminution du poids des nouveau-nés et qui est plus apparente chez les garçons que chez les filles, mais les différences ne sont pas statistiquement significatives. Ghosh et al. (2007) ont effectué un examen systématique des différences de sexe chez les nouveaux nés exposés à une pollution de l'air prénatale et ré-analysé les données de plusieurs études antérieures. Ceci n'a pas, spécifiquement, révélé des effets de la pollution de l'air sur le type de sexe dans ce contexte. L'exposition à la pollution de l'air des femmes enceintes peut perturber l'équilibre foetal/comburant antioxydant qui pourrait mener à des blessures oxydatives des foetus en développement (Proietti et al., 2013).

5. Les effets des particules atmosphériques sur le bâti et les écosystèmes

Le processus d'altération des bâtiments résulte de l'action combinée des différents éléments atmosphériques ayant pour effet de modifier la couleur, la texture, la composition ou la forme des édifices qui y sont exposés, conduisant finalement à une perte de matière et à un aspect inesthétique.

Il est difficile d'évaluer la responsabilité de chacun des polluants atmosphériques dans la dégradation du patrimoine bâti. Néanmoins, les particules, essentiellement carbonées (suies et cendres volantes), sont principalement responsables du noircissement des façades. Elles se déposent à la surface des édifices et conduisent à leur empoussièrement et à la formation de croûtes noires. Elles peuvent également être porteuses de soufre et de métaux catalyseurs de certaines réactions d'oxydation qui altèrent les matériaux. Les nettoyages et ravalements successifs mis en œuvre pour la préservation du patrimoine bâti représentent un coût important pour la société, et entraînent une perte de matière sur les édifices. Outre la mise en péril du patrimoine historique, les effets des particules sur le bâti constituent donc un enjeu économique important.

Les effets des aérosols atmosphériques sur les écosystèmes sont encore assez mal connus. En se déposant sur la plante, les particules peuvent avoir des effets directs sur son fonctionnement via des réactions physiques et/ou chimiques, tels que le blocage des échanges gazeux, la dégradation ou l'abrasion de la cuticule, des salissures entraînant une diminution de l'activité de photosynthèse et le développement d'organismes pathogènes, comme les champignons. Ces effets sont essentiellement rencontrés de façon localisée, à proximité immédiate des sources. Mais les particules peuvent aussi avoir un impact sur les écosystèmes en modifiant le milieu, notamment l'eau et le sol. Par ces modifications, on peut citer l'apport de nutriment (qui peut être bénéfique dans certains cas mais nocif en trop grande quantité), l'acidification et la contamination par dépôt de polluants toxiques tels que les Polluants Organiques Persistants (HAP ou dioxines par exemple). U. S. EPA (2004), « Air Quality Criteria for Particulate Matter – Volume II of II », Washington DC, EPA 600/P-99/002aF-bF Primequal-Predit (2005), « Pollution par les particules atmosphériques: état des connaissances et perspectives de recherche », La documentation française, Paris Lefèvre R., Ausset P. (2001), « Les effets de la pollution atmosphérique sur les matériaux du patrimoine bâti : la pierre et le verre », Pollution Atmosphérique, 172, 571-588 .

6. Les effets des particules atmosphériques sur le climat

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

7. Recommandations et législations des émissions des particules

En Algérie, l'article 3 du décret exécutif n° 06-138 du 5 avril 2006, réglemente les émissions des gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, dans l'atmosphère; ainsi, les valeurs limites de ces rejets dans l'atmosphère sont fixées. L'article 7 stipule qu'en cas de défaillance 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.

Chapitre I Etude Bibliographique- 21 - Contrairement aux normes algériennes traitant des particules fines sans leur donner une définition, les normes européennes portent sur les particules PM10 et PM2,5. La politique européenne concernant les PM10 (1999/30/CE) prévoit d'imposer des limites plus strictes sur les villes et les gouvernements locaux et à partir du 1er Janvier 2010, les seuils de PM10 furent changés de la sorte :

-la moyenne journalière ne dépasse pas $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sur plus de sept jours par an

-la moyenne annuelle ne dépasse pas $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cependant, les recherches épidémiologiques indiquent que les plus fines des particules sont plus nocives pour la santé. Dans cet esprit, la directive 1999/30/CE a également exigé la surveillance des taux des PM2,5, obligeant les états membres à signaler les concentrations quotidiennes de ces particules à la Commission Européenne. Toutefois, comme on peut le

constater, cette directive n'a pas fixé de seuils ou de pénalités pour les PM2,5.

Dix ans plus tard, la directive 2008/50/CE a établi des seuils de PM2,5 pour la première fois :

1. En 2020, les états membres doivent réduire leur indicateur moyen d'exposition des PM2,5 de 20%, en fonction de leurs niveaux de 2010. Cet indicateur doit prendre en compte les concentrations moyennes des années 2008, 2009 et 2010.
2. L'indicateur annuel d'exposition moyenne des PM2,5 des zones urbaines ciblées est fixé à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, condition à remplir avant 2015.
3. Le niveau annuel moyen des PM2,5 ne doit pas excéder 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans toutes les zones ciblées ou pas ciblées, avant 2015.
4. En 2020, la limite moyenne annuelle des PM2,5 sera refixée à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, norme à respecter par toutes les stations de mesure (pour zones ciblées et pas ciblées).

En examinant les normes de l'union européenne, on constate que celles relatives aux PM2,5 sont moins strictes que celles concernant les PM10. La limite annuelle de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ n'est pas suffisamment stricte car, en Europe, de nombreuses zones urbaines sont déjà en dessous de cette valeur qui est en surplomb par rapport aux courbes épidémiologiques d'exposition-réponse (Brunekreef et al., 2008).

En outre, le rapport PM2,5/PM10 européen se situe autour de 0,6 et 0,7 (Querol et al., 2004). Cela signifie que la limite annuelle de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ relative aux PM2,5 devrait correspondre à une limite annuelle de PM10, de 36 à 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'agence américaine US-EPA définit une valeur annuelle moyenne de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5 (USEPA, 2015). En 2006, la moyenne quotidienne des PM2,5 a été abaissée de 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En revanche, la valeur annuelle pour les PM10 a été supprimée car les études disponibles ne permettent pas de prouver un lien entre les problèmes de santé et une exposition à long terme aux PM10. La Californie préconise, quant à elle, une limitation de la concentration annuelle des PM2,5 à 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (CARB, 2002).

L'OMS préconise une valeur annuelle de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5 (OMS, 2006). Le seuil de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a été choisi pour représenter la plus faible concentration des PM2,5, 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

Matériels et méthodes

1. Matériels et méthodes

1.1. 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. Deux préleveurs y ont été installés. Le premier dispositif d'échantillonnage a été placé à environ 3 m au-dessus du sol et à environ 6 m de la RN79. Ce site est représentatif du niveau maximal d'exposition de la population située en proximité de la RN79. Le deuxième dispositif d'échantillonnage a été placé à l'intérieur de la même faculté à une distance de 200 m de la voie de circulation. Ce site a été considéré comme un site de fond urbain car il n'est pas directement affecté par le trafic routier (Figure. 1).

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.

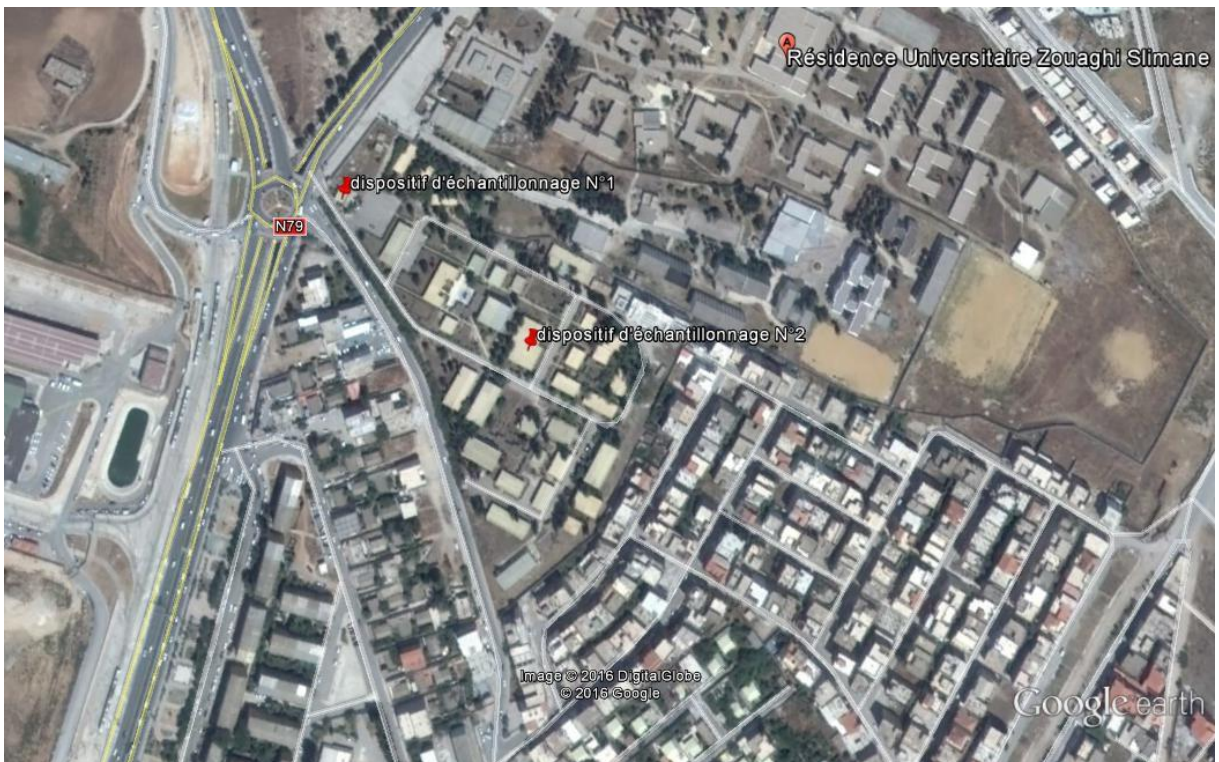


Figure 1 : Sites de prélèvement de la cité Zouaghi

30 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 23

Mars 2015 et le 06 juillet 2015. Durant cette campagne. L'échantillonnage est déclenché automatiquement à minuit. Un échantillonneur d'air portable à faible volume (marque Airmetrics, modèle Minivol TAS) ayant un débit de 5 litres/minute a été utilisé (Figure. 2). 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).

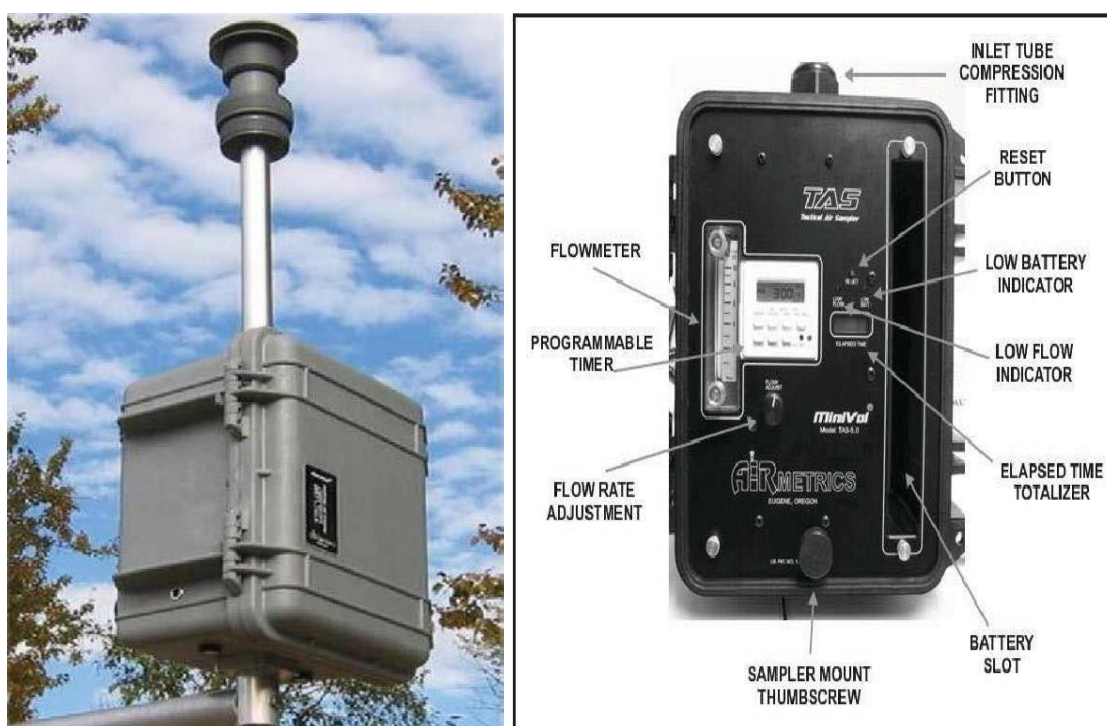


Figure 2 : Le collecteur de poussières (TAS)

1.2. Mesure des particules fines

Chaque filtre a fait l'objet d'une minéralisation selon la méthode de Kuvarega *et al.* (2008). Un spectromètre d'absorption atomique à flamme de marque Shimadzu, modèle 7000 AAS, supportant une flamme à l'acétylène a été utilisé pour l'analyse des éléments métalliques Fe, Na, Mg, Ca, Zn et K, tandis que le Pb a été analysés à l'aide d'une technique polarographique grâce à un appareil de polarographie de marque Metrohm,

modèle VA Computrace 797. 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.

1.3. L'analyse factorielle

L'analyse factorielle essaie d'identifier des variables sous-jacentes, ou facteurs, qui permettent d'expliquer le profil de corrélations à l'intérieur d'un ensemble de variables observées.

Le but de l'analyse factorielle est donc d'identifier ces facteurs -qui ne sont ni directement observables, ni mesurables- à partir des variables observées.

De manière générale, l'analyse factorielle est une technique statistique servant à identifier un petit nombre de facteurs capables de décrire les relations entre de nombreuses variables interconnectées.

Le premier intérêt de ce type d'analyse est donc de remplacer les variables initiales, généralement corrélées, par des variables non corrélées, plus faciles à traiter (Dagnelie, 1975).

Cette technique tente d'expliquer un ensemble de données dans un nombre de dimensions plus petit que le nombre de départ.

Le second intérêt est donc de réduire le nombre de variables à prendre en considération et d'aboutir à une interprétation complémentaire des observations initiales.

Une bonne solution de l'analyse factorielle consiste à obtenir:

- un nombre de facteurs aussi petit que possible,
- des facteurs qui expliquent le plus possible les corrélations observées entre les variables,
- des facteurs significatifs et interprétables.

Exemple :

Considérons l'ensemble des notes des élèves durant une année. Le nombre d'élèves est environ de 450, et nous pouvons considérer qu'ils obtiennent environ 30 notes chacun.

Ainsi le tableau représentant l'ensemble des notes est constitué de 13 500 valeurs. La réduction présentée ci-dessus permet de réduire ce nombre à 480 valeurs sans perte d'information si l'hypothèse est valide. Pour que l'hypothèse soit vérifiée, il faudrait pouvoir déduire les notes de l'ensemble des élèves à partir de celles d'un seul élève et d'un vecteur de pondération. Ceci signifie que les notes sont dépendantes les unes des autres ou encore très fortement corrélées.

En pratique, il faut donc chercher une approximation de rang S pour X . C'est-à-dire ces analyses cherchent à écrire le tableau X tel que :

$$X = v_1 u_1 + v_2 u_2 + \dots + v_s u_s + E$$

Où E est une matrice de I lignes et K colonnes de termes négligeables dite matrice résiduelle. Ainsi les I, K valeurs initiales de X sont reconstituées de façon satisfaisante par les S ($I+K$) valeurs des S vecteurs V_q et U_q . Les données sont donc soit considérées en tant qu'individus décrits par leurs K variables à l'aide des vecteurs U_q à K composantes, soit en tant que variables décrites par les I individus à l'aide des vecteurs V_q à I composantes. La résolution de ce problème passe donc par la considération des deux nuages de points ou encore des deux représentations géométriques associées (figure 3). Nous obtenons ainsi I points dans l'espace \mathbb{R}^K et K points dans l'espace \mathbb{R}^I . Plusieurs formes de nuages sont remarquables aussi bien pour les projections de l'espace des individus que pour celui des variables (figure 4). Par exemple, nous pouvons distinguer des formes sphériques ne traduisant aucune direction privilégiée, des formes allongées donnant une direction privilégiée des dépendances, ou encore plusieurs sous-nuages faisant ainsi apparaître plusieurs sous-groupes de la population. Le problème est de pouvoir rendre compte visuellement de la forme des nuages, pour ce faire l'idée est d'étudier les projections sur des droites ou mieux des plans (les projections dans un espace à 3 dimensions seraient intéressantes si l'œil humain n'était pas souvent trompé). Il faut donc chercher le sous-espace qui ajuste au mieux le nuage de points. Cherché à minimiser les déformations que la projection implique.

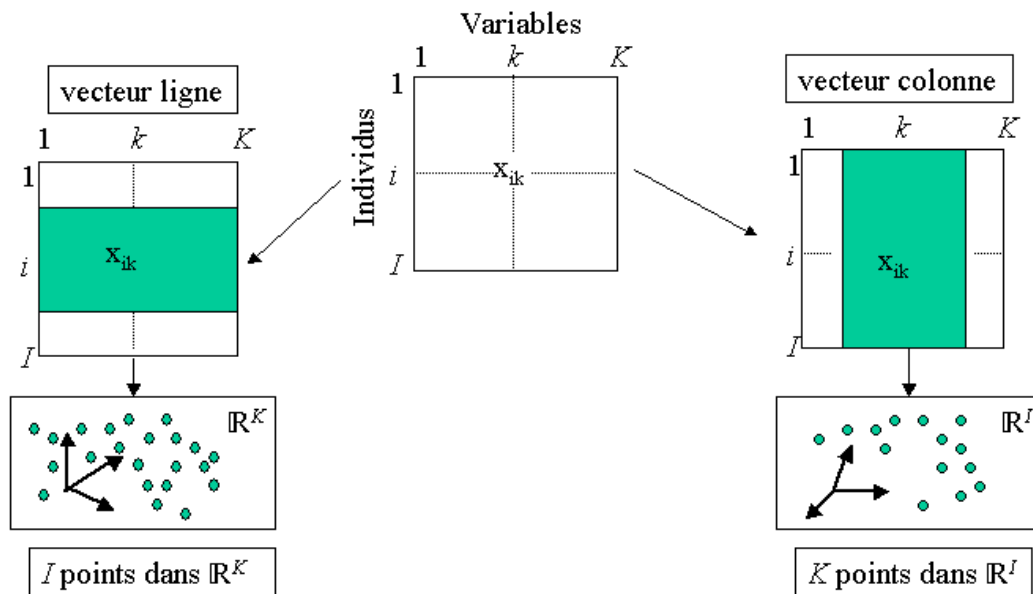


Figure 3 : Les nuages de points

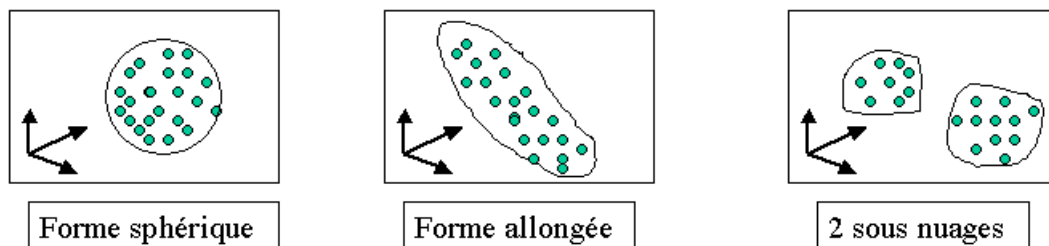


Figure 4 : Les formes de nuages de points

1.4. le logiciel SPSS 2.0

SPSS est le logiciel parfait pour une analyse de données et une interprétation sous forme de statistiques. Destiné à toutes les personnes qui doivent réaliser des études statistiques dans leur domaine d'activité, il possède un grand nombre d'applications. Ce logiciel permettra de présenter les résultats de chaque étude.

Avec le logiciel SPSS, dans le menu "Analyse → Factorisation → Analyse factorielle", on peut choisir différentes méthodes d'extraction des facteurs en cliquant sur le bouton "Extraction" : Maximum de vraisemblance, Composantes principales, Factorisation en axes principaux, etc (figure 5). En cliquant sur le bouton "Facteur" (figure 5), on peut demander au logiciel d'afficher l'estimation de la matrice des scores des facteurs

communs, et l'estimation de la matrice des coefficients des scores des facteurs communs V . L'estimation de ces deux matrices est présentée à la figure 6. Le logiciel propose comme résultats la matrice de saturation estimée, appelée "matrice des composantes" (figure 6).

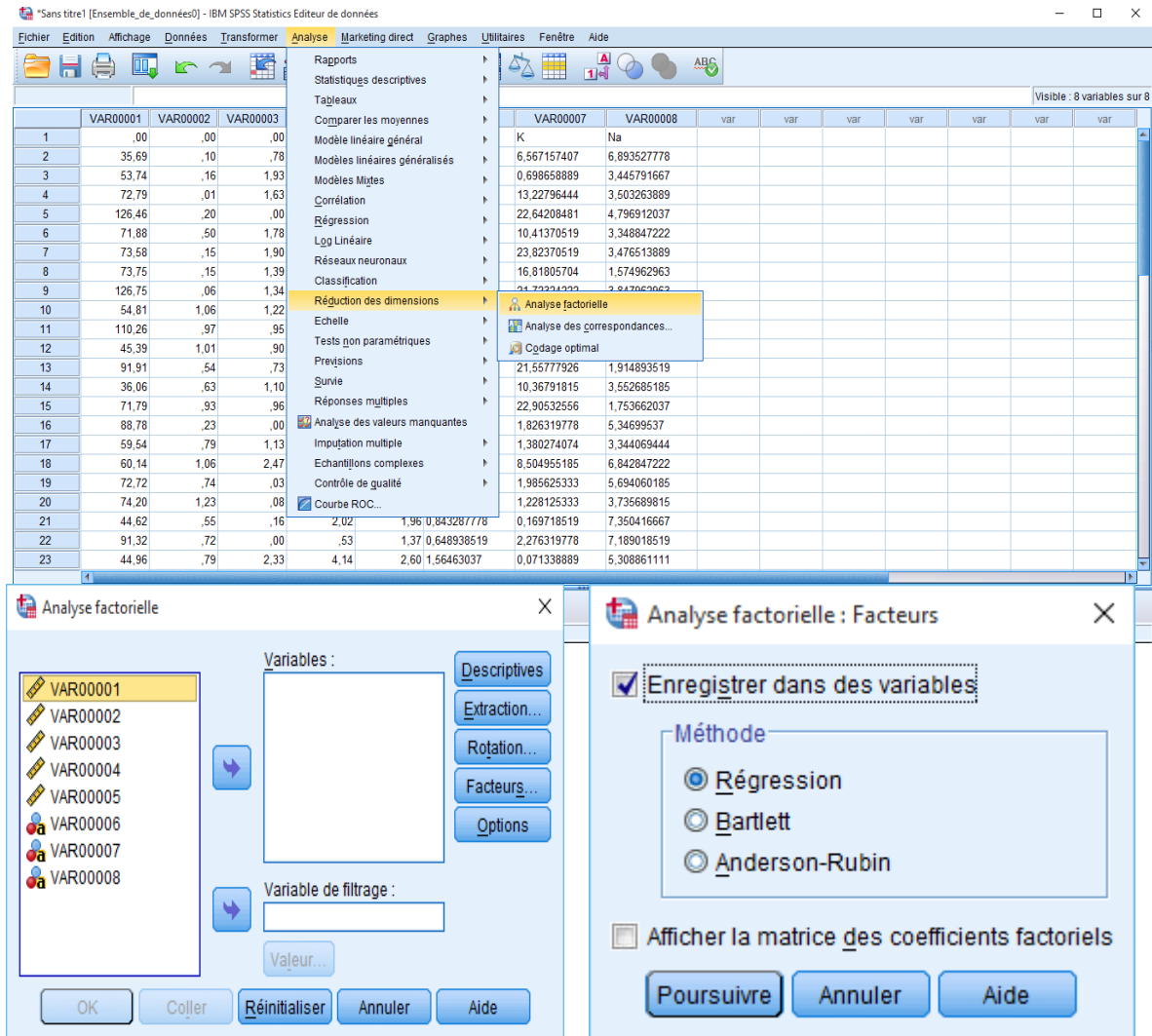


Figure 5 : Estimation du modèle d'A.F. avec SPSS

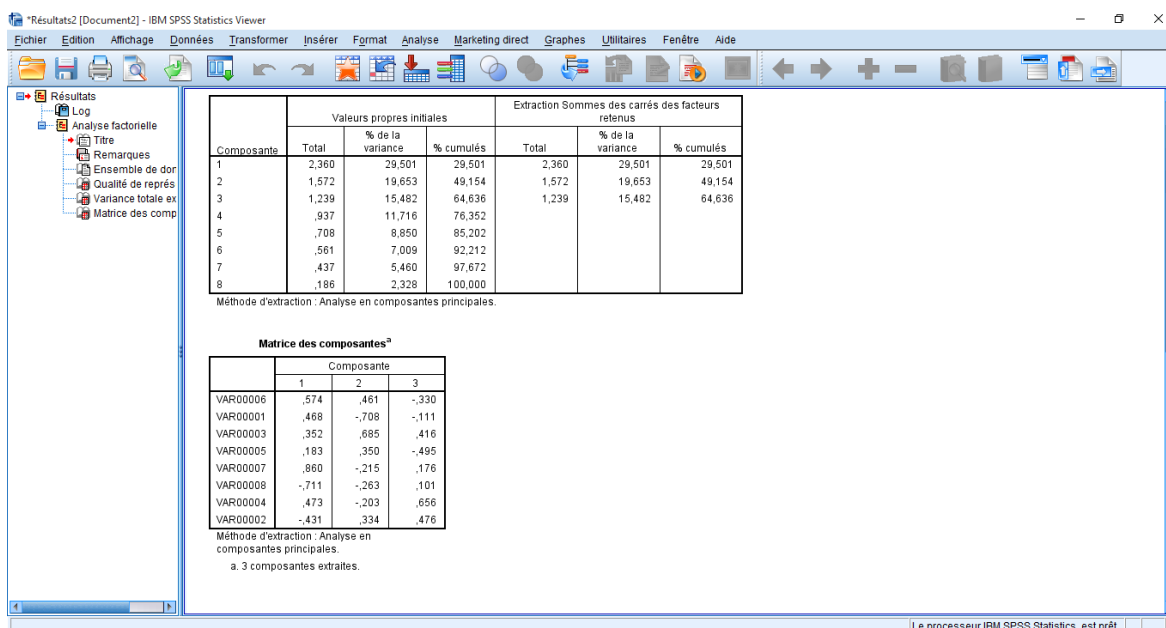


Figure 6 : matrice des composants

2. Concentration moyenne de PM10 et quelques métaux lourds pour le site 1

Tableau 1 : Résumé statistique du PM10 et de quelques métaux importants pour la période mars 2015-juillet 2015

	Moy	Min	Max
PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	44,57	14,64	128,86
Mg(ng/m^3)	2,92	0,02	64,76
Fe($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,67	1,69	16,68
Zn(ng/m^3)	313,85	163,86	592,54
Pb($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,77	0,046	1,92
K($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,65	0,07	23,82
Na($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,57	1,57	7,43
Ca($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,47	0,014	10,43
Humidité relative (%)	40,38	15,12	83,95
Température ($^{\circ}\text{C}$)	23,66	10,14	33,72
Vitesse du vent (m s^{-1})	0,43	0,07	1,46

Le tableau 1 montre les statistiques sommaires pour les concentrations des PM10 et quelques métaux lourds ainsi des données météorologiques pour la période d'étude.

Durant cette campagne de mesure, la concentration moyenne en PM10 enregistrée est de $44.57 \mu\text{g m}^{-3}$. Cette concentration dépasse la moyenne annuelle recommandée par l'OMS pour qui est de $20 \mu\text{g m}^{-3}$, mais elle est conforme à la norme algérienne fixée par le décret exécutif n° 06-02 du 07 janvier 2006 qui est de $50 \mu\text{g m}^{-3}$ comme objectif de qualité de

l'air et à la valeur limite fixée à $80 \mu\text{g m}^{-3}$ par le même décret. Sur les 71 prélèvements effectués, plus de 29 % 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 NW, S et SE 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 polyclinique Mentouri sont en effet supérieures à 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].

La concentration moyenne de cuivre (2.92 ng m^{-3}) reste nettement inférieure à celles enregistrées au niveau de la Direction de la Santé située à l'avenue Belouizded à Constantine dans le cadre d'une étude de la pollution particulaire réalisée par (Seraghni, 2007), vu que la densité du trafic au niveau de cette avenue est plus importante que celle de l'EPSP Mentouri.

La valeur maximale du cuivre a été enregistrée le 09/07/2010. Cette valeur peut être expliquée par l'absence de précipitations et surtout à la présence de feux de biomasse dans ce jour.

La concentration moyenne du Fe ($9,67 \mu\text{g m}^{-3}$) est proche de celles enregistrées en Egypte dans quelques quartiers pollués du Caire (Abu-allaban, Lowenthal, Gertler, & Labib, 2007), et plus de trois fois supérieures aux valeurs mesurées à Madrid. Il faut noter que le fer est parmi les éléments de l'écorce terrestre le plus abondant au niveau de l'EPSP Mentouri, Il provient essentiellement de sources naturelles (usure des roches et du sol), car les sols nus et secs contribuent fortement à ces taux élevés.

La teneur moyenne de zinc est de 313.85 ng m^{-3} . Ce teneur est plus élevé que celle enregistrées au niveau d'un site à Madrid (93 ng m^{-3}). La valeur maximale de zinc (592.54 ng m^{-3}) a été enregistrée le 05/07/2015 où la vitesse moyenne du vent était la plus faible durant toute la période d'étude (0.07 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).

La teneur moyenne du plomb durant la campagne de mesure était de $0.77 \mu\text{g m}^{-3}$. Elle est relativement élevée par rapport à celle mesurée au niveau de l'APC de Didouche Mourad du 15/11/2002 au 16/01/2003 qui était de 91 ng m^{-3} et celle enregistrée dans un site de proximité à Alger d'une valeur de 300 ng m^{-3} . Les teneurs de plomb mesurées sont extrêmement élevées et dépassent de loin la nouvelle norme européenne qui est de $0.25 \mu\text{g m}^{-3}$. Ce taux élevé de plomb s'explique par le fait que l'essence plombée est jusqu'à maintenant utilisée dans notre pays et que le plomb représente un des indicateurs majeurs de la pollution issue du trafic routier (Bencharif Madani, 2012).

3. Relation entre les concentrations de particules avec les variables météorologiques

Tableau 2: Coefficients de corrélation de PM10 et quelques métaux avec les paramètres météorologiques

	Vitesse du vent	Direction du vent	Température	Humidité relative	Précipitation
PM10	-0.15	-0.08	0.53	-0.29	-0.16
Cu	0.06	-0.06	-0.045	-0.1	-0.08
Zn	-0.47	0.19	-0.15	0.56	0.09
Fe	-0.2	-0.21	-0.13	0.16	0.07
Pb	-0.24	0.5	-0.24	0.38	0.14

Les corrélations entre les PM10, les métaux lourds et les paramètres météorologiques au niveau de l'EPSP Mentouri sont résumées dans le tableau 2.

Il existe une bonne corrélation entre les PM10 et la température ($r = 0.53$). Un temps chaud a tendance à favoriser les turbulences verticales et à disperser les fines particules issues des gaz d'échappement en altitude. A l'inverse, un temps froid conduit plutôt à une stabilisation des basses couches de l'atmosphère et à piéger ces particules au niveau du sol.

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

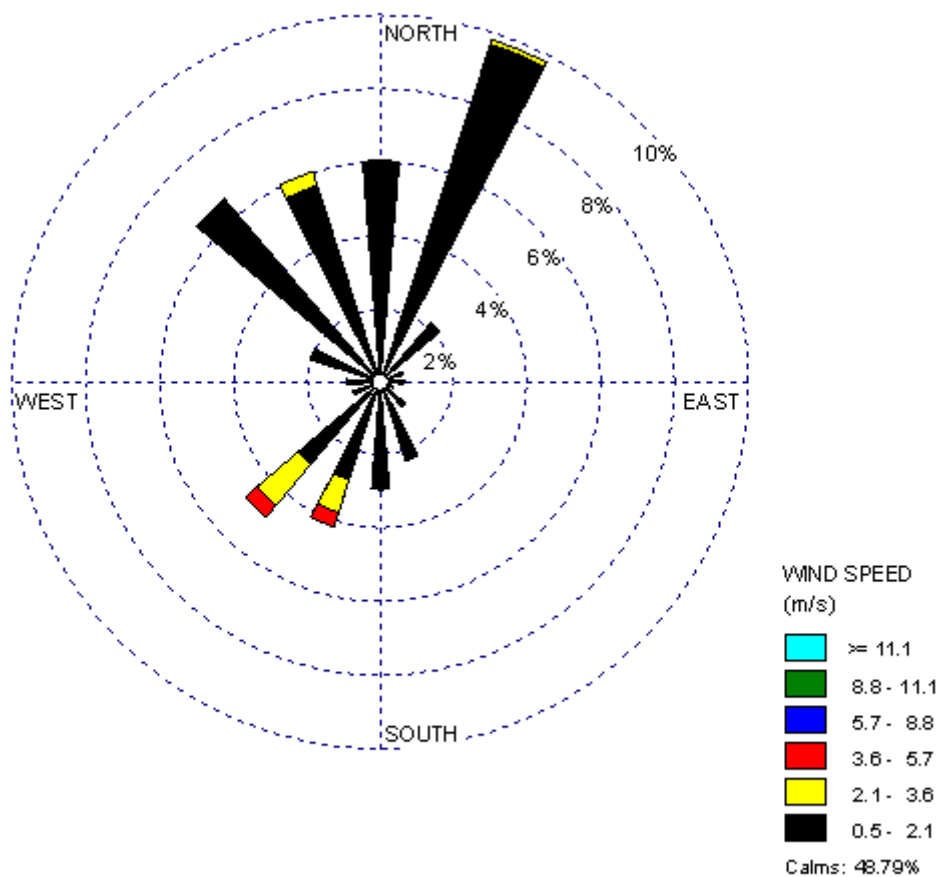
4. Traitement des données météorologiques

Le logiciel WRPLOT nous a permis de traiter les données météorologiques horaires recueillies par la station météorologique installée sur le toit de la polyclinique. Une rose des vents est obtenue synthétisant les données horaires. Elle représente la fréquence des vents sous forme de vecteurs dont la longueur est proportionnelle au pourcentage d'apparition du vent dans un secteur donné. De plus, chaque vecteur est divisé en plusieurs sections reflétant la fréquence de distribution de la vitesse du vent selon les classes de vitesses définies en tant que paramètre d'entrée. Donc il nous a permis de générer les différents roses des vents de la période d'étude.

Les paramètres météorologiques qu'on a utilisés sont :

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

La période d'échantillonnage s'étale du 23/03/2015 au 06/07/2015. La rose des vents correspondante est illustrée dans la figure 7.



**Figure 7 : Rose des vents entre le 23/03/2015 et le 06/07/2015
(Les vecteurs indiquent la direction de provenance du vent)**

Globalement, on remarque que les vents prédominants enregistrés au niveau EPSP Mentouri sont de direction NE avec une fréquence de 10%. et une vitesse moyenne variant entre 0,5 et 2,1 m/s. Les autres directions enregistrant une fréquence non négligeable sont de NW (8%) avec une vitesse moyenne comprise entre 0.5 et 3.6 m/s, de SW (5%) avec une vitesse comprise entre 0,5 et 5,7 m/s et de SE (2%) avec une vitesse comprise entre 0,5 et 2,1 m/s.

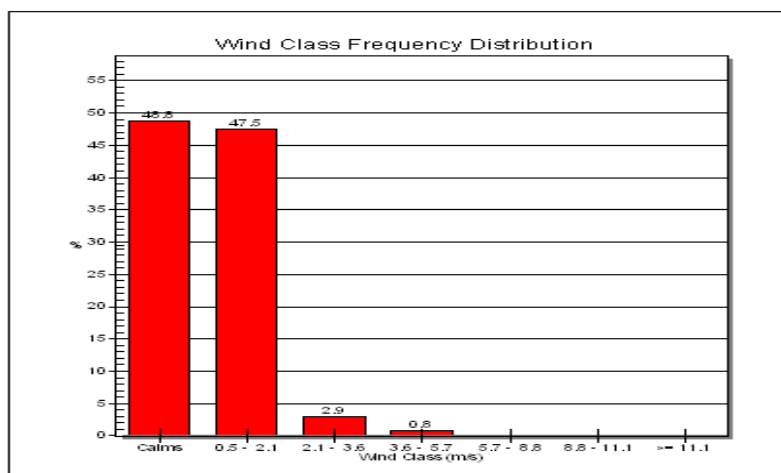


Figure 8 : Distribution des fréquences des classes de vent

Les vents calmes (< 0,5 m/s) dominent au niveau de EPSP Mentouri avec une fréquence de 48,8%. Les vents possédant une vitesse comprise entre 0,5 et 2,1 m/s ont une fréquence de 47,5%. Les vents ayant une vitesse comprise entre 2,1 et 3,6 m/s et entre 3,6 et 5,7 m/s ont une fréquence de 2,9% et 0,8% respectivement.

5. Application de l'analyse factorielle pour identifier les sources de pollution

Tableau 3 : Matrice des composantes après rotation (Varimax avec normalisation de Kaiser)

	Site 1			Site 2		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Pb	-0,109	-0,133	0,863	-0,139	0,877	0,142
K	0,770	0,249	0,315	-0,475	0,780	-0,138
Mg	-0,293	0,682	0,122	0,239	-0,151	0,844
Fe	0,801	-0,163	0,145	0,763	-0,257	0,112
Na	-0,453	-0,575	0,250	-0,295	-0,447	0,733
Ca	0,158	0,771	0,148	0,177	0,076	0,933
Zn	0,445	0,455	0,508	-0,293	0,806	0,120
Var %	22,38	20,62	16,83	27,44	21,05	16,88
Cum%	22,38	42,99	59,82	27,44	48,49	65,37
Sources possibles	Remise en suspension des poussières de sol	Aérosols marins	Trafic routier	Croûte terrestre	Activités humaines	Aérosols marins

Les facteurs supérieurs à ± 0.5 sont indiqués en gras

Le tableau 3 présente les résultats de l'analyse factorielle pour les PM10 dans deux sites différents et les sources possibles.

Trois facteurs ont été extraits à partir des données des PM10 dans le site 1 qui expliquent environ 60 % de la variance totale, avec les facteurs F1 à F3 représentant 22,4%, 20,6% et 16,8% respectivement (Tableau 3).

F1 renferme des charges élevées de K et de Fe et peut être associé à la remise en suspension des poussières de sol par les voitures.

F2 correspond à des charges élevées de Na, Ca et de Mg. Il est donc associé à la pollution marine.

F3 est corrélé avec Pb, Zn Ces composés ont été associés aux composés émis par le trafic routier, en l'occurrence, les gaz d'échappement des véhicules, l'usure des pneus, des pièces mécaniques et des lubrifiants.

Pour le deuxième site, quatre facteurs, été extraits à partir des données des PM10, expliquent environ 60 % de la variance totale.

Le premier facteur représente des charges élevées de Pb, K et Zn. Ces éléments sont liés à différentes activités humaines comme le trafic routier (l'usure des garnitures de freins et des pneus (Zn), combustion du carburant (Pb) (Rodriguez *et al.*, 2004)) .

F1 reflète une charge élevée de Fe e. Il est donc attribué à une origine crustale.

Le facteur F3 est caractéristique des sels marins qui sont reflétés par une charge élevée de Na, Mg et Ca et dont les origines peuvent être la mer Méditerranée et les nombreux marais salants localisés au sud.

Conclusion générale

Cette étude nous a permis de nous renseigner sur les niveaux de pollution particulaire au niveau de deux sites à Constantine. Les mesures effectuées ont permis de quantifier les concentrations des particules PM10.

En effet, la situation géographique du site et leur morphologie rendent les facteurs météorologiques moyennement influents par rapport à la concentration des particules tant en ce qui concerne les précipitations que la vitesse des vents.

Dans ce travail, des techniques statistiques sont été utilisées avec succès pour identifier et caractériser les sources des polluants. L'application de l'analyse factorielle avec rotation des facteurs, une technique multivariée, a permis d'identifier les sources de pollution parmi lesquelles la remise en suspension des poussières de sol, les sels marins et le trafic urbain sont considérés comme les principales sources de PM10.

Résumé

La qualité de l'air en Algérie 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 PM et leur origines. Le but de cette étude était d'identifier les différents sources de PM et de quelques éléments chimiques (Pb, Cu, Zn, Fe, K, Ca, Na, Mg) dans un site trafic (Zouaghi, Constantine), en utilisant l'analyse factorielle (AF) à l'aide du logiciel **IBM SPSS Statistics 2.0**. L'analyse factorielle essaye d'identifier des variables sous-jacentes, ou facteurs, qui permettent d'expliquer le patron des corrélations à l'intérieur d'un ensemble de variables observées. Le premier intérêt de ce type d'analyse est donc de remplacer les variables initiales généralement corrélées, par des variables non corrélées, plus faciles à traiter. Cette technique tente d'expliquer un ensemble de données dans un nombre de dimensions plus petit que le nombre de départ.

Mots clés : analyse factorielle, pollution particulaire, sources des PM

Abstract

The quality of air in Algeria has not been the subject of consistent measures because of the insufficient number of researchers involved in this field and the lack of reliability of the few air quality monitoring networks installed in Algeria . It is therefore of the utmost importance to address this problem in order to estimate PM levels and their origins. The aim of this study was to identify the different sources of PM and some chemical elements (Pb, Cu, Zn, Fe, K, Ca, Na, Mg) in a traffic site (Zouaghi, Constantine) factor analysis (AF) using IBM SPSS Statistics 20. Factorial analysis attempts to identify underlying variables, or factors, that explain the pattern of correlations within a set of observed variables. The first interest of this type of analysis is therefore to replace the generally correlated initial variables with uncorrelated variables that are easier to process. This technique attempts to explain a set of data in a number of dimensions smaller than the starting number.

Keywords: factor analysis, particulate pollution, PM sources

ملخص

ولم تكن نوعية الهواء في الجزائر موضوع تدابير متسقة بسبب عدم كفاية عدد الباحثين المشاركين في هذا المجال، وعدم موثوقية شبكات مراقبة نوعية الهواء القليلة المثبتة في الجزائر. ولذلك فمن الأهمية القصوى لمعالجة هذه المشكلة من أجل تقدير مستويات الجسيمات وأصولها. الهدف من هذه الدراسة هو التعرف على المصادر المختلفة للجسيمات وبعض العناصر الكيميائية (الرصاص، النحاس، الزنك، الحديد، البوتاسيوم، الكالسيوم، الصوديوم، المغنيسيوم) في موقع حركة المرور (زواغي، قسنطينة (AF)) باستخدام **IBM SPSS Statistics 2.0**. يحاول تحليل العوامل المعرفية تحديد المتغيرات الأساسية أو العوامل التي تفسر نمط الارتباطات ضمن مجموعة من المتغيرات الملاحظة. وبالتالي فإن الميزة الأولى لهذا النوع من التحليل هو استبدال المتغيرات الأصلية المترابطة بشكل عام مع متغيرات غير مترابطة هي أسهل للعلاج. هذا الأسلوب يحاول شرح مجموعة من البيانات في عدد من الأبعاد أصغر من رقم البداية.

الكلمات الرئيسية: تحليل العوامل، تلوث الجسيمات، مصادر الجسيمات.

Références bibliographiques

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

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

Araujo JA and Nel A. Particulate matter and atherosclerosis: role of particle size, composition and oxidative stress. *Part Fibre Tox* 2009; 6, 1-19.

Boland S et al. Responses of human airway epithelial cells in culture to diesel exhaust particles. *Am. J. Resp. Crit Care Med.* 1999; 159: 464.

Baeza A et Marano F. Pollution atmosphérique et maladies respiratoires: un rôle central pour le stress- Brunekreef, B., & Maynard, R. (2008). A note on the 2008 EU standards for particulate matter. *Atmospheric Environment*, 42, 6425-6430.

Brook RD et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease, an update to the scientific statement from the American Heart Association *Circulation* 2010; 121, 2331-2378.

Bonvallot V et al. Organic compounds from diesel exhaust particles elicit a proinflammatory response in human airway epithelial cells and induce cytochrome p450 1A1 expression. *Am J Respir Cell Mol Biol* 2001; 25: 515-521.

Cicerone, R. (1994). Fires, atmospheric chemistry, and the ozone-layer. *Science*, 263, 1243e1244.

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.

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

CARB. (2002, juin). California Ambient

Air Quality Standards for PM. Récupéré sur

<http://www.arb.ca.gov/research/aaqs/caaqs/pm/pm.htm>

Dockery W., Pope C.A. 3rd, Xu X. Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G. cities. N Engl. J Med, 329, 24,p. 1753-1759.

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

Diaz-Sanchez DT et al. Combined diesel exhaust particulate and ragweed allergen challenge markedly enhances human in vivo nasal ragweed-specific IgE and skews cytokine production to a T helper cell 2-type pattern. J Immunol 1997; 158, 2406-2413 .

Donaldson K et al. Free radical activity associated with the surface of particles: a unifying factor in determining activity? Toxicol Lett 1996; 88: 293-298.

Dubief, J. (1979). Review of the North African climate with particular emphasis on the production of eolian dust in the Sahel zone and in the Sahara', in : Morales, C. Sahara Dust, 14.

Han, X. Luke, p & Naehar. (2005). A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. Environnement International. p, 108-110.

Holloway, T., Levy, H., & Kasibhatla, P. (2000). Global distribution of carbon monoxide. J. Geophys. Res.-Atmos(105), 12123-12147

Hamade AK and CG Tankersley Interstrain variation in cardiac and respiratory adaptation to repeated ozone and particulate matter exposures. Am J Physiol Regul Integr Comp ----- Physiol 2009; 296(4): R1202-15.

IGEAT. (2006) Mémoire , Influence des conditions météorologiques sur la pollution particulières dans un milieu urbain.Journal of Geophysical Research, 103, 13137–13144.

Jr, Speizer F.E.(1993). An association between air pollution and Mortality in six U.S.

Kelly FJ et al. Particle-mediated extracellular oxidative stress in the lung, Particle toxicology, ed Donaldson K and Borm P, CRC Press, 2007; 90-117.

Kerbachi R., Oucher N., Bitouche A., Berkouki N., Demri B., Boughedaoui M. & Joumard R. (2009).

La maison, (2006) Mémoire ,Influence des conditions météorologiques sur la pollution particulières dans un milieu urbain.

L'analyse de données
Polycopié de cours ENSIETA - Réf. : 1463

Li N et al. Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage. Environ Health Perspect 2003; 111, 455-460.

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).

L'analyse de données
Polycopié de cours ENSIETA - Réf. : 1463

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

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.

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

Mills NL et al. (2005). Diesel exhaust inhalation causes vascular dysfunction and impairment endogenous fibrinolysis Circulation. 112, 3930-3936.

Moulin, C., Lambert, E., Dayan, U., Masson, V., Ramonet, M., Bousquet, P., . . . Dulac, F. (1998). Satellite climatology of African dust transport in the Mediterranean atmosphere.

OMS. (2005). La pollution atmosphérique par les particules en suspension : ses effets sur la santé (Aide-mémoire EURO 04/05). Organisation Mondiale de la Santé.

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.

Pope C.A, Thun M., Dockery D.W, Ewans J.S., Speizer F.E. & Heath C.W. (1995). Particulate air pollution as a

Pollution par les particules fines dans l'agglomération d'Alger. Colloque International «Environnement et transports dans des contextes différents », Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév, p. 31-40.

Querol, X., Alastuey, A., Ruiz, C. R., Artinano, B., Hansson, H., Harrison, R., Schneider, J. (2004). Speciation and origin of PM10 and PM2,5 in selected European cities. Atmospheric Environment(38), 6547–6555.

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

Salvi SB. Acute inflammatory responses in the airways and peripheral blood after short-term exposure to diesel exhaust in healthy human volunteers. Am J Respir Crit Care Med 1999; 159, 702-709.

Seinfeld et Pandis, 1998. Blanchard 1964, Hoffman et Duce, 1976. Putaud et al., 2000. 2004) et O'Dowd et al. (2004). O'Dowd et De Leeuw, 2007.

Service public de Wallonie. (2009). Qualité de l'air ambiant en région wallonne

Shindell, D., & Faluvegi, G. (2009). Climate response to regional radiative forcing during the twentieth century. Nat. Geosci, 2, 294-300.

Urbanski, S., Hao, W., & Baker, S. (2008). Chemical composition of wildland fire emissions. *Developments in Environmental Science*, 8, 79–107.

USEPA. (2015). Consulté le 2015, sur National Ambient Air Quality Standards (NAAQS): <http://www.epa.gov/air/criteria.html>

Wrang et al ,(2003). Mémoire ,Influence des conditions météorologiques sur la pollution particulières dans un milieu urbain

Yuan, B., Liu, Y., Shao, M., Lu, S., & Streets, D. (2010). Biomass burning contributions to ambient VOCs species at a receptor site in the Pearl River Delta (PRD), China. *Environ. Sci. Technol*, 44, 4577-4582.

Zhang, G., Li, J., Li, X., Xu, Y., Guo, L., Tang, J., . . . Chen, Y. (2010). Impact of anthropogenic emissions and open biomass burning on regional carbonaceous aerosols in South China. *Environ. Pollut*, 158, 3392-3400.