



## Variations Saisonnières des particules atmosphériques et ses composants chimiques dans la Ville de Meknès – Maroc (Seasonal variations of the atmospheric particles and its chemical components in Meknes city-Morocco)

H. Ait Bouh <sup>1,\*</sup>, F. Benyaich <sup>2</sup>, M. Bounakhla <sup>1</sup>, Y. Noack <sup>3</sup>, M. Tahri <sup>1</sup>, F. Zahry <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques Nucléaire (CNESTEN), Unité Pollution et Géochimie - Division Applications aux Sciences de la Terre et de l'Environnement (UGP/DASTE) B.P.1382 R.P.10001, Rabat, Morocco

<sup>2</sup> Département de Physique, Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc ;

<sup>3</sup> Centre Européen de Recherches et de l'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE), Aix en Provence, France.

Received 05 Apr 2012, Revised 4 Sept 2012, Accepted 8 Sept 2012

\* Corresponding Author: [haitbouh@gmail.com](mailto:haitbouh@gmail.com)

### Abstract

This work is a study of the particulate and elementary matter in the town of Meknes in Morocco. The aerosol samples were collected with Gent PM-10 stacked filter unit (SFU). The aerosol particles were separated by the SFU into a coarse and a fine sized fractions. The pollutants were collected between March 2007 and April 2008. The chemical concentrations of thirteen elements (Ca, Cl, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, S, Sr, Ti and Zn) were determined by X-ray Fluorescence with Total Reflexion (XFTR), whereas Al was determined by the Atomic Absorption Spectrometry. In the case of the matter particulate, the fine/PM-10 ratios are in general rather weak (lower than 0.5), showing the importance of the terrigenous contributions and the handing-over in suspension of the ground, especially in July and August when the coarse fraction reaches the highest contents (increase in the wind erosion of the ground). The concentrations measured were found to be higher than European quality standards and recommendations of World Health Organization air quality (WHO), while the chemical composition does not present a great difference between the fine and coarse fractions with a mass percentage of 19 to 23% of the total mass of the particles. Moreover, the seasonal variation is less important. It is also noted that the Ni and Pb contents are higher than the air quality standards. Moreover, the comparison with former works show a great similarity between several works released in Africa and even in Europe. However, the best quality of the air is that recorded in France.

**Key words:** Particulate matter, chemical compositions, Atmospheric pollution, Meknes Morocco.

### Résumé

Le présent travail est une étude de la matière particulaire et élémentaire dans la ville de Meknès au Maroc. Les prélèvements ont été effectués avec un appareil de type Gent PM-10, permettant de séparer les fractions grossières des fractions fines. Les campagnes de prélèvements ont eu lieu entre mars 2007 et avril 2008.

Les concentrations de treize éléments chimiques (Ca, Cl, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, S, Sr, Ti et Zn) ont été déterminées par la Fluorescence X à Réflexion Totale (TXRF) ; alors que l'Al a été analysé par la Spectrométrie d'Absorption Atomiques.

Dans le cas de la matière particulaire, les rapports des fractions (Fine/Totale) sont en général assez faibles (inférieur à 0,5), montrant l'importance des apports terrigènes et de la remise en suspension du sol, surtout en juillet et août où la fraction grossière atteint les teneurs les plus élevées (accroissement de l'érosion éolienne du sol). On enregistre également un dépassement des normes de qualité européennes et recommandations de

l'OMS. Alors que la composition chimique ne présente pas une grande différence entre les fractions fines et grossières avec un pourcentage massique de 19 à 23 % de la masse totale des particules. De plus, la variation saisonnière est moins importante. On note aussi que les teneurs en Ni et en Pb sont supérieures aux normes de qualité. De plus, La comparaison avec des travaux antérieurs montre une grande similitude entre plusieurs travaux réalisés en Afrique et même en Europe. Cependant, la meilleure qualité de l'air est celle enregistrée en France.

*Mots clés* : Matière particulaire, compositions chimiques, Pollution atmosphérique, Meknès Maroc.

## 1. Introduction

Les particules atmosphériques en suspension sont des mélanges complexes de substances en suspension dans l'air. Leurs propriétés se définissent en fonction de leur diamètre aérodynamique. Ces particules peuvent véhiculer aussi bien des éléments indispensables aux cycles de vie que des polluants néfastes (métaux lourds, dioxyde de soufre, etc.) pour divers écosystèmes qu'elles côtoient lors de la dispersion météorologique [1].

Nous avons considéré dans ce travail, en fonction de la granulométrie, deux types de particules : Les fractions grossières ou PM10 dont le diamètre aérodynamique moyen est compris entre 2,5 et 10  $\mu\text{m}$  et les fractions fines ou PM2,5 dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 2,5  $\mu\text{m}$ . L'ensemble de ces deux types de particules est appelé PM-10 ou totale.

Le but de cette étude est l'évaluation et le suivi saisonnier de la matière particulaire ainsi que sa composition chimique dans la ville de Meknès au Maroc, les résultats obtenus seront confrontés aux normes européennes et celles de l'OMS et, comparés à des travaux antérieurs..

## 2. Méthodologie

### 2.1. Sites et campagnes de prélèvements

De mars à octobre 2007, nous avons choisi pour notre étude la Compagnie de Transport de Meknès, CTM (33,897439N, -5,536886W) (maps.google.fr) agence de voyage sise à l'avenue des FAR au centre ville (Hamriya), près d'une station de grands taxis et non loin du trafic ferroviaire ; nous y'avons ainsi installé nos matériels à une hauteur d'environ 4 mètres. Ce site est représentatif d'un milieu urbain avec un trafic routier dense. A partir novembre 2007, pour des raisons logistiques, le matériel a été installé sur un site similaire, l'avenue Allal Ben Abdallah (33,898881N, -5,546896W) (maps.google.fr) sur le toit du collège Allal Ben Abdallah, à une hauteur de 4 mètre. Ce site connaît aussi un fort trafic routier, avec présence non loin du trafic ferroviaire.

### 2.2. Techniques et protocoles de prélèvements

Les prélèvements ont été faits par un préleveur de type Gent, constitué de deux filtres en polycarbonate placés en série ; la porosité des filtres (8  $\mu\text{m}$  pour le premier et 0,4  $\mu\text{m}$  pour le second), couplé avec un débit de 17 l/mn environ, assure des coupures granulométriques théoriques à un peu plus de 10  $\mu\text{m}$  et environ 2,5 $\mu\text{m}$  ; on obtient ainsi une fraction grossière et une fraction fine [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Afin de couvrir tous les jours de la semaine, les prélèvements ont été effectués une fois tous les six jours pour une durée de 24 h. Les filtres ont été pesés avant et après prélèvement à l'aide d'une balance de précision (METTLER TOLEDO, AG 245). Les différentes concentrations massiques seront exprimées en  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (aux conditions normales de température et de pression).

### 2.3. Méthode d'analyse de la matière particulaire

Les filtres Gent ont subi une attaque par 10 ml de l'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) accélérée par chauffage au four micro-onde (Mars 5 CEM). La solution finale a été mélangée avec une solution standard de Se, avant d'être analysée par la Fluorescence de rayons X en Réflexion Totale (TXRF). Cette technique permet l'irradiation suivant un angle d'incidence extrêmement faible, d'un échantillon sous forme de résidu d'une solution de quelques  $\mu\text{l}$ . Les rayons X sont presque totalement réfléchis et le détecteur ne reçoit que le rayonnement fluorescent émis par l'échantillon [8]. Les éléments chimiques déterminés sont le Ca, Cl, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, S, Sr, Ti et le Zn. L'analyse de l'Al a été accomplie par la Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) de type SpectrAA 220 de Varian, sur la solution mère après dilution par l'eau distillée.

Les concentrations élémentaires seront exprimées en  $\text{ng}/\text{Nm}^3$ . (aux conditions normales de température et de pression).

#### 2.4. Outils de traitements des données

Afin d'évaluer la qualité de l'air telle que nous l'avons envisagée à travers l'évolution temporelle et saisonnière des particules atmosphériques en suspension ; de nombreuses méthodes de traitements ont été utilisées dans ce travail, basées sur des représentations graphiques, certains outils de traitements mathématiques des données ainsi que des paramètres physiques tels que les précipitations et le comptage des véhicules.

Le Coefficient de Divergence (CD) est un paramètre utilisé dans le but de déterminer l'existence ou l'absence d'une similarité entre deux variables bien distinctes. Dans notre étude, le Coefficient de Divergence a été utilisé pour comparer deux saisons différentes et avec un nombre  $p$  de composés chimiques [9].

$$CD_{jk} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \left( \frac{x_{ij} - x_{ik}}{x_{ij} + x_{ik}} \right)^2}, \quad (\text{Eq. 1})$$

avec,  $x_{ij}$  et  $x_{ik}$  sont les concentrations moyennes du composé chimique  $i$  dans les saisons  $j$  et  $k$ .

Si  $CD$  est proche de 0, les données des deux saisons de prélèvements sont considérées similaires. Alors que si  $CD$  est proche de 1, les données sont très différentes entre les deux saisons de prélèvements.

La fraction massique FM correspond à un gramme du composant chimique par un gramme de PM-10. Elle est exprimée en %.

La variation représente le degré de variabilité en calculant la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale.

Le Rapport élémentaire des fractions Fines/ Totale est la part des fractions fines dans la matière particulaire totale. En effet, lorsque ce rapport est égal à 0,5, on dit que nous avons une distribution équitable entre les fractions fines et celles des grossières. Si ce rapport dépasse 0,5, les composants chimiques ont une tendance vers les fractions grossières (cas des éléments terrigènes ou naturelles) ; alors que si ce rapport est inférieur à 0,5, les composants chimiques sont plus importants dans les fractions fines (provenant en particulier de sources anthropiques).

#### Pluviosité :

La pluie est un facteur qui peut contribuer à réduire les concentrations des particules en suspension dans l'air et ceci par lavage de l'atmosphère et des sols, diminuant ainsi la remise en suspension de particules. Au niveau de la ville de Meknès, la période de pluie la plus importante s'étale d'octobre en mai, avec 9 à 14 jours de pluie par mois. Les précipitations moyennes annuelles enregistrées en mm, durant la période allant de 2006 à sont de 561 mm (Monographie de la région de Meknès – Tafilalet).

Dénombrement des véhicules : Afin de vérifier l'influence du trafic automobile sur les teneurs en particules atmosphériques en suspension, nous avons effectué au niveau de l'avenue Allal Ben Abdallah, un comptage des véhicules, à l'aide d'un compteur manuel. Cela est entre 6 h du matin et 10 h du soir, en particulier le vendredi 25 et le dimanche 27 juillet 2008. Dans ce comptage, nous n'avons pas fait une différenciation entre les types des véhicules (motocyclette, voiture, poids lourds, bus, ...).

Le comptage nous a permis de dénombrer 18000 véhicules le vendredi contre seulement 13 000 véhicules le dimanche.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Concentrations massiques en particules atmosphériques

##### 3.1.1. Évolutions journalières

La **figure 1** illustre le profil des évolutions quotidiennes des teneurs massiques des fractions fines et grossières en fonction de la pluviosité à Meknès durant 2007-2008 et en faisant une distinction entre l'avenue des FAR et l'avenue Allal Ben Abdallah.

Les teneurs journalières varient de  $7,59 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (samedi 08/03/2008) à  $50,59 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (Dimanche 21/10/2007) dans le cas des fractions fines et de  $10,90 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (dimanche 02/03/2008) à  $112,84 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  (vendredi 10/08/2007) pour les fractions grossières. Cette large fourchette de variation au niveau de la même fraction

peut-être due, d'une part au changement de l'intensité du trafic routier, et d'autre part aux influences météorologiques. Le rapprochement entre les teneurs des fractions fines et grossières durant certains jours de prélèvements effectués en novembre, janvier et février, peut-être attribué à plusieurs facteurs (vacances scolaires, grève et chute de la pluie).

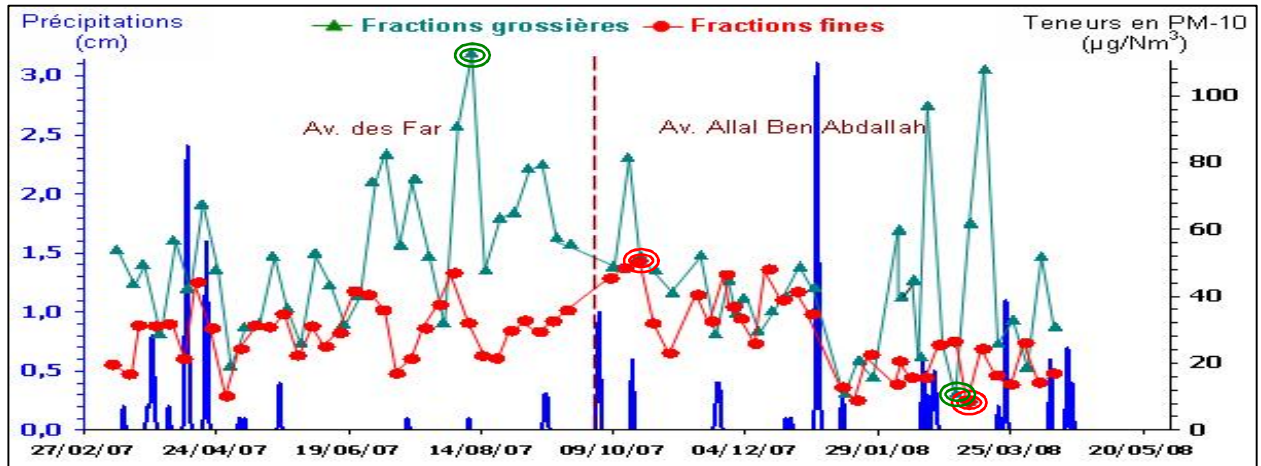


Figure 1 : Profils des évolutions journalières des teneurs massiques en fractions fines, grossières et totales en fonction de la pluviométrie à Meknès.

En particulier, la relation entre les précipitations et les teneurs en particules est difficile à mettre en évidence puisque les mesures n'ont pas été faites en continu. Néanmoins, on peut remarquer, surtout pour les fractions grossières, que la pluie joue un rôle dans la baisse des concentrations des fractions grossières, comme c'est le cas les jours des prélèvements effectués en avril 2007 et janvier 2008 ; les concentrations remontent assez vite après (la terre sèche rapidement).

### 3.1.2. Cas d'une semaine

En calculant les moyennes des concentrations pour chaque jour à part, nous obtenons le profil hebdomadaire de variation des fractions fines et grossières prélevées dans la ville de Meknès, durant 2007-2008 (figure 2).

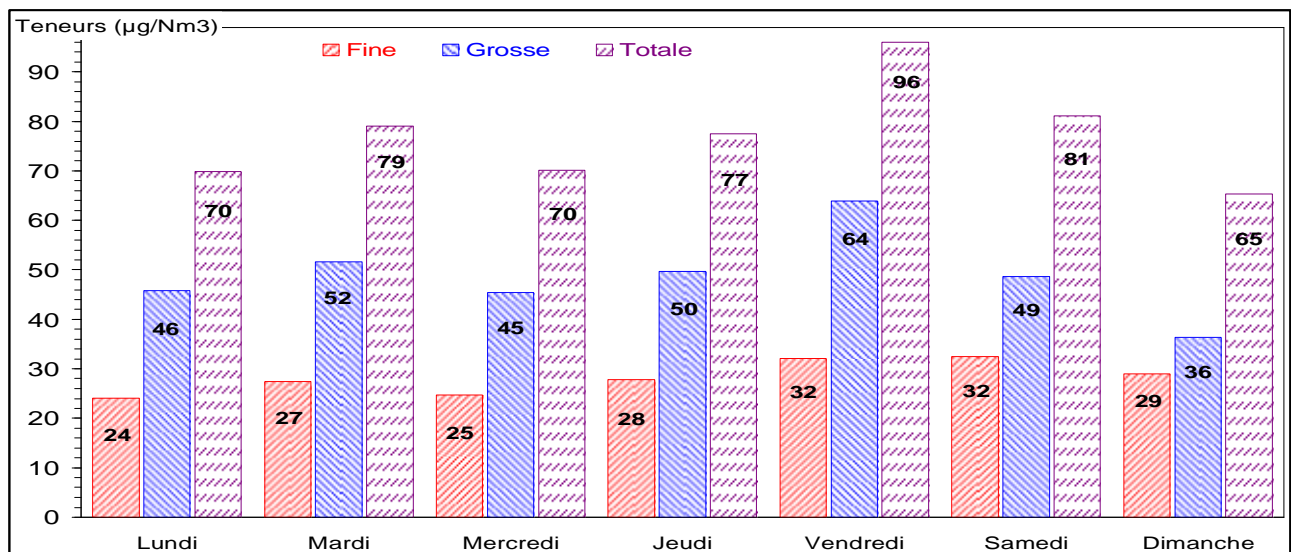


Figure 2 : Profil hebdomadaire des moyennes des teneurs massiques des fractions fines et grossières pour chaque jour à part, à Meknès durant 2007-2008.

La variabilité entre les jours de prélèvements est en général non significative. En effet, dans le cas des fractions fines, la variation est de 8  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  contre 28  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  pour les fractions grossières. Cette dernière variation plus ou moins importante est due aux deux jours exceptionnels qui sont : le vendredi et dimanche atteignant des teneurs extrêmes (respectivement 64 et 36  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ). Ces deux particularités observées peuvent être expliquées dans le cas du vendredi par une augmentation de la densité du trafic routier suite à la croissance des allers-retours aux alentours de midi (prière du vendredi) et dans le cas du dimanche par la diminution du trafic automobile (jour de repos), voir § 2.4. La variation pour les autres jours (7  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) est comparable à celle des fractions fines.

### 3.1.3. Évolutions saisonnières

Le **tableau 1** répertorie les concentrations massiques des différentes fractions (fines, grossières et totales), ainsi que le rapport des fractions (Fine/Totale), ainsi que leurs paramètres de dispersion.

**Tableau 1** : Moyennes et intervalles des variations saisonnière et annuelle des teneurs massiques en fractions fines, grossières, totales en  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  et rapports (Fine/totale) à Meknès durant 2007-2008.

Saisons	Paramètres statistiques	Fine	Grosse	Totale	F/T
Hiver (déc. + janv. + fév.)	Min.	8,00	11,00	23,00	0,18
	Max.	48,15	60,00	90,37	0,58
	Moy.	<u>25,85</u>	<u>35,12</u>	60,97	0,42
	E.T.	12,49	13,84	21,19	0,13
	C.V.	48,32	39,41	34,75	30,95
Printemps (mars + av. + mai.)	Min.	7,59	10,90	28,74	0,11
	Max.	44,17	67,70	111,87	0,70
	Moy.	<u>23,41</u>	39,19	62,60	0,38
	E.T.	9,33	15,37	19,58	0,13
	C.V.	39,85	39,22	31,28	34,21
Été (juin. + juil. + août)	Min.	16,27	31,83	60,53	0,22
	Max.	46,99	112,84	144,61	0,54
	Moy.	<u>30,42</u>	<u>61,47</u>	91,88	0,34
	E.T.	8,74	22,69	25,94	0,10
	C.V.	28,73	36,91	28,23	29,41
Automne (sept. + oct. + nov.)	Min.	22,44	28,84	55,33	0,27
	Max.	50,59	81,63	130,10	0,57
	Moy.	<u>37,25</u>	49,95	87,19	0,43
	E.T.	8,24	16,02	18,88	0,08
	C.V.	22,12	32,07	21,65	18,60
Année	Min.	7,59	10,90	23,00	0,11
	Max.	50,59	112,84	144,61	0,70
	Moy.	<u>28,51</u>	46,87	75,38	0,39
	E.T.	10,88	20,04	25,78	0,12
	C.V.	38,16	42,76	34,20	30,77

A l'exception de l'automne où la concentration moyenne est de 37,25  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , les fractions fines ne présentent pas d'évolutions saisonnières particulières (les moyennes varient entre 23,41  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  le printemps et 30,42  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  en été). Ces concentrations restent inférieures à celles des fractions grossières où les moyennes varient entre 35,12  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  en hiver et 61,47  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  en été. Ainsi, le rapport des fractions (Fine/Totale) moyen reste inférieur à 0,5. Ce qui indique une contribution importante des particules naturelles et une proportion non négligeable de particules préalablement déposées et agrégées sur les sols.

La fraction totale est de l'ordre de 62  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  pendant l'hiver et le printemps et de l'ordre de 90  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  durant l'été et l'automne.

La comparaison avec les normes de qualité, sur l'ensemble des prélèvements quotidiens, a révélé que seulement 9 jours de prélèvements sont en dessous de la valeur limite journalière de la DE (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{j}$ ) ([10, 11, 12, 13], c'est-à-dire que le nombre maximum de dépassements (35 par an) est donc très largement dépassé.

Concernant les normes de qualité annuelles, la concentration moyenne annuelle est de  $75,38 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  très largement au dessus de l'objectif de qualité ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$ ) et la valeur limite ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$ ) de la directive européenne [10, 11, 12, 13] ainsi que de la valeur guide de l'OMS fixée à  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$  [14]. Elle est très voisine de la valeur limite tunisienne ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$ ) [15] est très inférieure à de la norme marocaine ( $200 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) [16]. De même, la valeur limite pour la fraction fine ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$ ) [13] est légèrement dépassée.

### 3.2. Concentrations en compositions chimiques

#### 3.2.3. Cas d'une semaine

D'une façon homologue à la matière particulaire, on considère les teneurs de 14 composants chimiques (Al, Ca, Cl, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, S, Sr, Ti et Zn) respectivement pour les fractions fines et grossières.

Les profils hebdomadaires des évolutions des teneurs élémentaires moyennes de l'ensemble des fractions fines et grossières (figure 4) ne présentent pas de variations significatives entre les jours de la semaine. Les variations modérées observées pour le Cl seraient dues principalement aux teneurs aberrantes mesurées pour certains jours singuliers ; alors que pour le Ni, les variations sont attribuées aux grand nombre des valeurs manquantes.

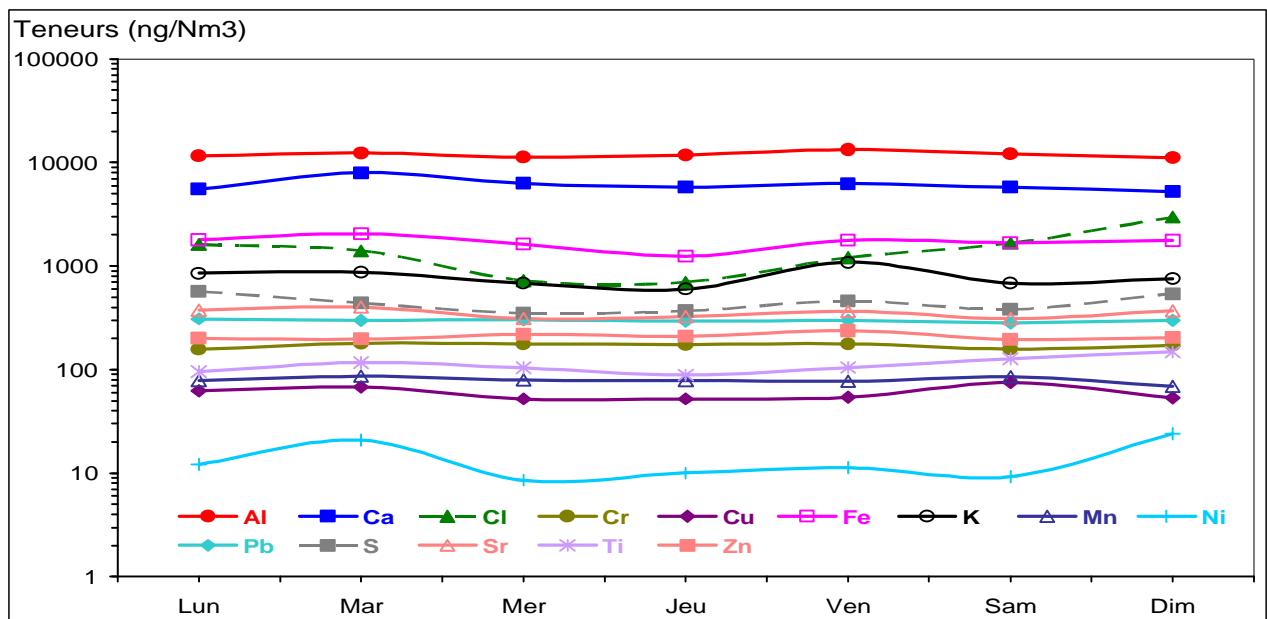


Figure 4 : Profils hebdomadaires des teneurs en compositions chimiques des fractions totales.

#### 3.2.1. Evolution saisonnière

Le tableau 2 répertorié les teneurs de 14 composants chimiques, obtenues respectivement pour les fractions fines et grossières, sous forme de paramètres statistiques. Les concentrations mesurées pour la majorité des éléments chimiques (exception faite généralement pour l'Al, le Cr, le Sr et le Pb) présentent des écart-types et des coefficients de variation très élevés. Cela est dû surtout à des teneurs extrêmes enregistrées pour quelques jours singuliers avec en général une variation saisonnière moins importante.

Globalement, c'est l'Al et le Ca qui présentent les concentrations les plus élevées, suivis du Fe ; alors que le Ni a les teneurs les plus faibles. Les différents composants chimiques peuvent être répartis comme suit :

- L'Al avec une concentration moyenne de  $11\,645 \text{ ng}/\text{Nm}^3$ , soit 51 % de l'ensemble des composants chimiques ;
- Le Ca avec une concentration moyenne de  $6201 \text{ ng}/\text{Nm}^3$ , avec un pourcentage de 27 % ;
- Le Fe avec une concentration moyenne de  $1750 \text{ ng}/\text{Nm}^3$ , avec un pourcentage de 8 % ;
- Le Cl et le K avec des teneurs moyennes supérieures à  $600 \text{ ng}/\text{Nm}^3$ , soit 3 % ;
- Le S et le Sr, avec des concentrations moyennes respectivement de  $459$  et  $356 \text{ ng}/\text{Nm}^3$  avec un pourcentage de 2 % ;
- Le Cr, le Pb, le Ti et le Zn avec des teneurs moyennes comprises entre  $100$  et  $300 \text{ ng}/\text{Nm}^3$  soit un pourcentage de 1 % ;
- Le Cu, le Mn et le Ni ont des teneurs inférieures à  $100 \text{ ng}/\text{Nm}^3$  avec un pourcentage inférieur à 1%.

**Tableau 2** : Moyennes et intervalles des variations saisonnières des teneurs en composition chimique en ng/Nm<sup>3</sup> des fractions fines (F) et grossières (G) à Meknès durant 2007-2008.

	F	Al	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Ni	Pb	S	Sr	Ti	Zn
	Automne	Min.	7124	673	124	41	17	334	122	18	4	149	151	207	24
Max.		8901	8444	398	176	68	1473	942	62	73	231	1225	264	106	264
Moy.		8110	2027	253	90	37	670	360	37	23	179	413	231	55	146
E.T.		453	1996	78	33	17	317	236	15	24	30	330	19	26	58
C.V.		6	98	31	37	46	47	66	41	104	17	80	8	47	40
G		Al	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Ni	Pb	S	Sr	Ti	Zn
Automne	Min.	5193	527	86	63	18	418	181	20	4	145	54	224	39	53
	Max.	6285	7879	325	173	67	2468	2621	94	11	232	764	270	161	212
	Moy.	5811	4199	203	97	35	1220	593	48	7	174	302	243	79	117
	E.T.	364	2388	72	28	17	627	640	19	2	29	200	16	37	46
	C.V.	6	57	35	29	49	51	108	40	29	17	66	7	47	39
	Hiver	F	Al	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Ni	Pb	S	Sr	Ti
Min.		6222	377	76	58	9	130	109	10	5	133	71	198	15	39
Max.		8746	2275	1173	133	56	664	1300	66	12	261	595	266	109	369
Moy.		7734	1380	323	85	32	379	491	30	8	173	247	228	45	158
ET		722	656	275	21	14	162	349	18	3	34	159	22	38	104
C.V.		9	48	85	25	44	43	71	60	38	20	64	10	84	66
Hiver	G	Al	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Ni	Pb	S	Sr	Ti	Zn
	Min.	1891	2582	140	70	14	706	334	30	5	133	88	197	30	60
	Max.	7016	11358	328	121	54	2369	1118	78	10	263	490	272	160	313
	Moy.	5103	5803	223	86	31	1263	627	44	7	181	243	234	73	115
	E.T.	1534	2172	47	14	13	528	269	14	2	39	129	22	43	66
	C.V.	30	37	21	16	42	42	43	32	29	22	53	9	59	57
Printemps	F	Al	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Ni	Pb	S	Sr	Ti	Zn
	Min.	2046	191	103	50	9	160	52	13	3	107	85	165	24	27
	Max.	9103	4336	4163	179	64	1152	2639	974	43	186	465	277	91	142
	Moy.	6601	1201	793	98	27	482	364	86	12	147	190	229	54	66
	E.T.	2321	904	1156	34	17	276	634	216	12	19	111	30	21	26
	C.V.	35	75	146	35	63	57	174	251	100	13	58	13	39	39
Printemps	G	Al	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Ni	Pb	S	Sr	Ti	Zn
	Min.	164	1184	96	27	7	384	119	9	1	73	31	109	14	25
	Max.	5651	9512	8331	308	206	3652	1048	99	18	237	361	291	228	122
	Moy.	2741	4210	1667	107	35	1115	381	44	8	152	181	223	86	71
	E.T.	1357	2383	2664	58	42	742	291	24	5	33	92	39	57	25
	C.V.	49	57	160	54	120	67	76	55	63	22	51	17	66	35
Été	F	Al	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Ni	Pb	S	Sr	Ti	Zn
	Min.	7246	968	202	27	11	242	85	13	3	97	116	176	37	58
	Max.	10057	6744	650	88	37	2056	648	70	13	180	591	232	118	173
	Moy.	8165	2404	386	50	20	746	300	35	8	117	221	197	66	119
	E.T.	776	1720	149	16	7	521	160	14	3	23	120	17	29	29
	C.V.	10	72	39	32	35	70	53	40	38	20	54	9	44	24
Été	G	Al	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Ni	Pb	S	Sr	Ti	Zn
	Min.	427	749	181	41	14	151	83	22	5	96	76	178	28	71
	Max.	7428	9735	1256	127	73	3131	1225	102	18	180	586	236	484	165
	Moy.	4638	4486	492	71	28	1410	474	66	9	117	199	202	113	127
	E.T.	2260	2505	286	24	15	892	311	20	5	24	132	20	121	23
	C.V.	49	56	58	34	54	63	66	30	56	21	66	10	107	18

Les fortes teneurs mesurées reflètent, en plus des apports terrigènes, l'état du parc automobile, ainsi que la qualité des carburants. La présence des éléments métalliques dans les fractions fines principalement ceux

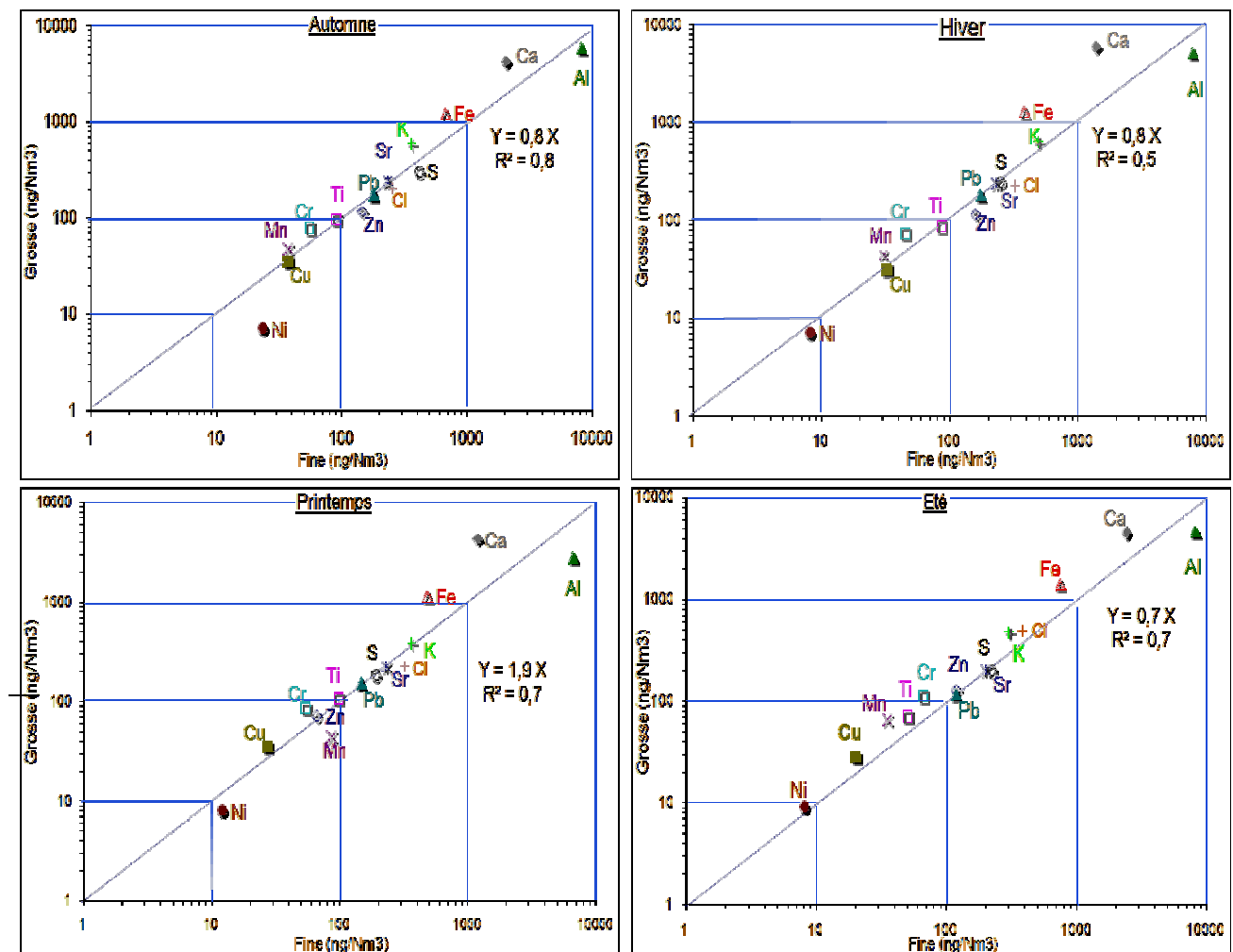
provenant de l'échappement est liée à leurs utilisations comme lubrifiant, anti-oxydant et anticorrosif ; tandis que leur présence dans les fractions grossières serait due surtout à l'usure des plaquettes des freins, à l'abrasion des pneus en plus de la remobilisation des poussières des routes [17, 18, 19, 20].

Par ailleurs, le calcul du coefficient de divergence intersaisons pour les fractions fines et grossières (tableau 3) appuie les observations citées précédemment. En effet, du moment que les coefficients de divergence sont tous très inférieurs à 1, nous pouvons dire que les teneurs élémentaires, que ce soit pour les fractions fines ou grossières, présentent une tendance similaire entre les quatre saisons.

**Tableau 3** : Coefficients de divergences intersaisons des fractions fines et grossières prélevées dans la ville de Meknès, durant 2007-2008.

Saisons	Coefficient de Divergence	
	Fine	Grosse
Automne - Hiver	0,2	0,1
Automne - Printemps	0,3	0,3
Automne - Été	0,2	0,2
Hiver - Printemps	0,2	0,3
Hiver - Été	0,2	0,2
Printemps - Été	0,2	0,2

La figure 3 permet de distinguer la répartition des teneurs élémentaires entre les fractions fines et grossières durant les quatre saisons.



**Figure 3** : Relations entre les concentrations élémentaires des fractions fines et grossières prélevées dans la ville de Meknès durant 2007-2008.



Globalement, la variation entre la répartition élémentaire entre les fractions fines et grossières est relativement faible, les coefficients de déterminations ( $R^2$ ) varient de 0,5 à 0,8. Néanmoins, il existe quelques fluctuations des distributions pour certains éléments entre les deux fractions. Le Ca, le Fe, le K, le Mn et le Ti sont distribués un peu plus sur les fractions grossières. L'Al, contrairement à ce que nous attendions, est plus concentré dans les fractions fines ; alors que le Cl, le Cr, le Cu, le Ni, le Pb, le S, le Sr et le Zn sont répartis équitablement sur les deux fractions. Cependant, le K, le Mn et le Ni changent de distributions d'une saison à l'autre. Le **tableau 4** montre clairement les différentes constatations en exposant les rapports élémentaires des fractions (Fine/Totale) pour les quatre saisons.

**Tableau 4** : Rapports élémentaires des fractions (Fine/Totale).

Période	Al	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Ni	Pb	S	Sr	Ti	Zn
Automne	0,58	0,34	0,56	0,47	0,51	0,37	0,41	0,45	0,53	0,51	0,56	0,48	0,39	0,55
Hiver	0,61	0,22	0,55	0,50	0,51	0,25	0,44	0,41	0,60	0,49	0,52	0,50	0,42	0,55
Printemps	0,70	0,23	0,45	0,51	0,48	0,32	0,40	0,47	0,54	0,50	0,54	0,50	0,42	0,48
Été	0,66	0,35	0,46	0,42	0,43	0,35	0,39	0,35	0,50	0,50	0,53	0,49	0,39	0,48
Année	0,65	0,29	0,50	0,47	0,48	0,32	0,41	0,42	0,54	0,50	0,54	0,49	0,40	0,52
Rapport F/T	> 0,5	< 0,5	= 0,5	= 0,5	= 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	= 0,5	= 0,5	= 0,5	= 0,5	< 0,5	= 0,5

Le calcul des fractions massiques respectivement pour les fractions fines et les fractions grossières (**tableau 5**, **figure 5**) montre que les fractions massiques les plus élevées sont enregistrées pour l'Al, le Ca et le Fe.

La variation saisonnière est modérée est en général ne dépasse pas la valeur 5 %. Cependant, nous pouvons distinguer une légère variation pour certains éléments. En particulier, dans le cas des fractions grossières, l'accroissement est observé pour le Ca en hiver peut être dû à la diminution du bilan massique des fractions grossières suite aux périodes pluviales rencontrées durant cette saison.

Les fractions massiques du Ca et du K sont un peu plus importantes dans les particules grossières peut-être du fait de leurs origines terrigènes. Alors que les fractions massiques pour le Cr, le Pb, le S, le Sr et le Zn sont légèrement plus élevées dans les particules fines. De même pour l'Al qui présente 19 % dans les fractions fines contre 9 % seulement dans les fractions grossières. Pour les autres éléments, les fractions massiques sont équivalentes pour les deux types de particules.

L'ensemble des composants chimiques constitue presque (19 et 23 % respectivement des masses des fractions fines et grossières). Nous pouvons ainsi conclure que les composants chimiques analysés sont moins abondants par rapport à ceux non analysés (aérosols secondaires, matière organique, ...).

**Tableau 5** : Moyennes et intervalles de variations des fractions massiques en % pour les particules fines et grossières prélevées dans la ville de Meknès durant 2007-2008.

FM (%)	Al	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mn	Ni	Pb	S	Sr	Ti	Zn	Somme	
Fine	Min.	10,37	1,19	0,27	0,06	0,56	0,03	0,34	0,03	0,01	0,24	0,20	0,43	0,05	0,12	4,68
	Max.	22,82	9,56	4,61	0,42	8,54	0,78	3,30	0,55	0,15	2,36	4,33	3,65	0,72	1,30	36,53
	Moy.	<b>19,26</b>	<b>4,48</b>	1,40	0,35	2,18	0,13	<u>0,23</u>	0,14	0,05	0,64	1,02	0,95	0,21	0,43	18,70
	E.T.	2,83	1,79	1,13	0,26	1,71	0,13	0,89	0,11	0,04	0,39	0,87	0,62	0,14	0,26	8,63
	C.V.	15	40	81	72	78	101	72	74	87	61	85	65	67	60	46
Grosse	Min.	0,98	1,35	0,10	0,05	0,27	0,02	0,11	0,02	0,01	0,13	0,08	0,20	0,04	0,07	10,80
	Max.	20,80	18,26	7,71	1,10	8,90	0,33	<u>7,46</u>	0,53	0,09	1,43	1,64	2,12	1,51	0,72	38,30
	Moy.	<b>8,81</b>	<b>8,98</b>	1,02	0,25	2,86	0,08	1,21	0,13	0,02	0,41	0,52	0,59	0,21	0,24	22,66
	E.T.	4,30	4,05	1,34	0,19	1,68	0,06	1,09	0,09	0,02	0,25	0,32	0,38	0,21	0,13	7,00
	C.V.	49	45	132	76	59	78	90	68	85	63	62	65	100	52	31

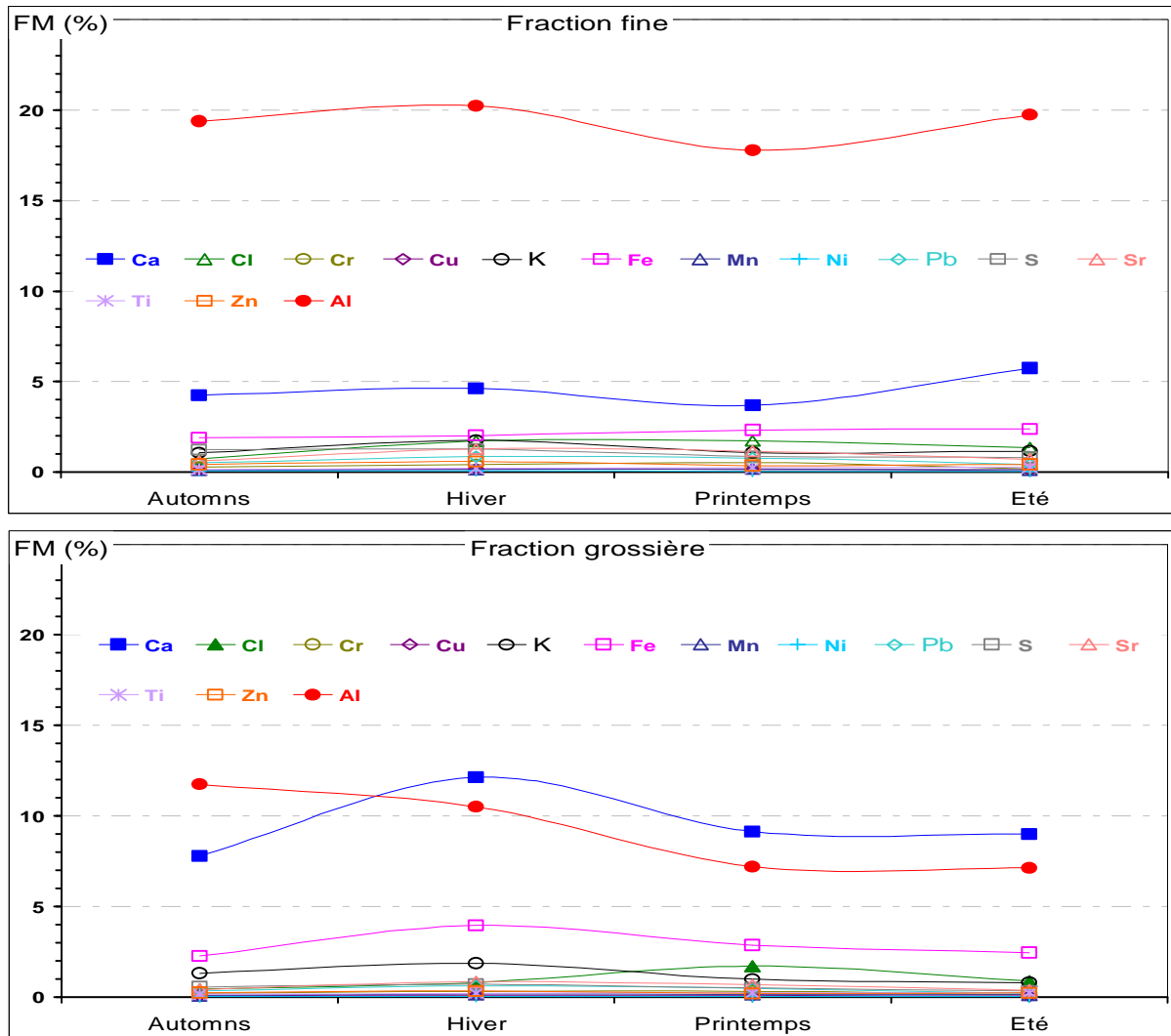


Figure 5 : Profils des variations saisonnières des fractions massiques pour les particules fines et grossières.

Vis-à-vis des normes de qualité, notamment pour les métaux réglementés (Pb et Ni), la valeur limite de la directive européenne et la valeur guide de l'OMS fixées à 500 ng/m<sup>3</sup>/an ([10, 11, 12, 13, 14, 21] sont respectées pour le Pb où la concentration moyenne est de 310 ng/Nm<sup>3</sup>/an. De même la norme marocaine (2000 ng/m<sup>3</sup>/an) [16] est aussi respectée. Cependant, l'objectif de qualité fixé à 250 ng/m<sup>3</sup>/an ([10, 11, 12, 13] est nettement dépassé. La concentration moyenne en Ni (20,5 ng/Nm<sup>3</sup>/an) est très voisine de la valeur cible de la directive européenne (20 ng/m<sup>3</sup>/an) [11, 12, 13]. Pour les autres composants chimiques mesurés aucune norme n'existe actuellement.

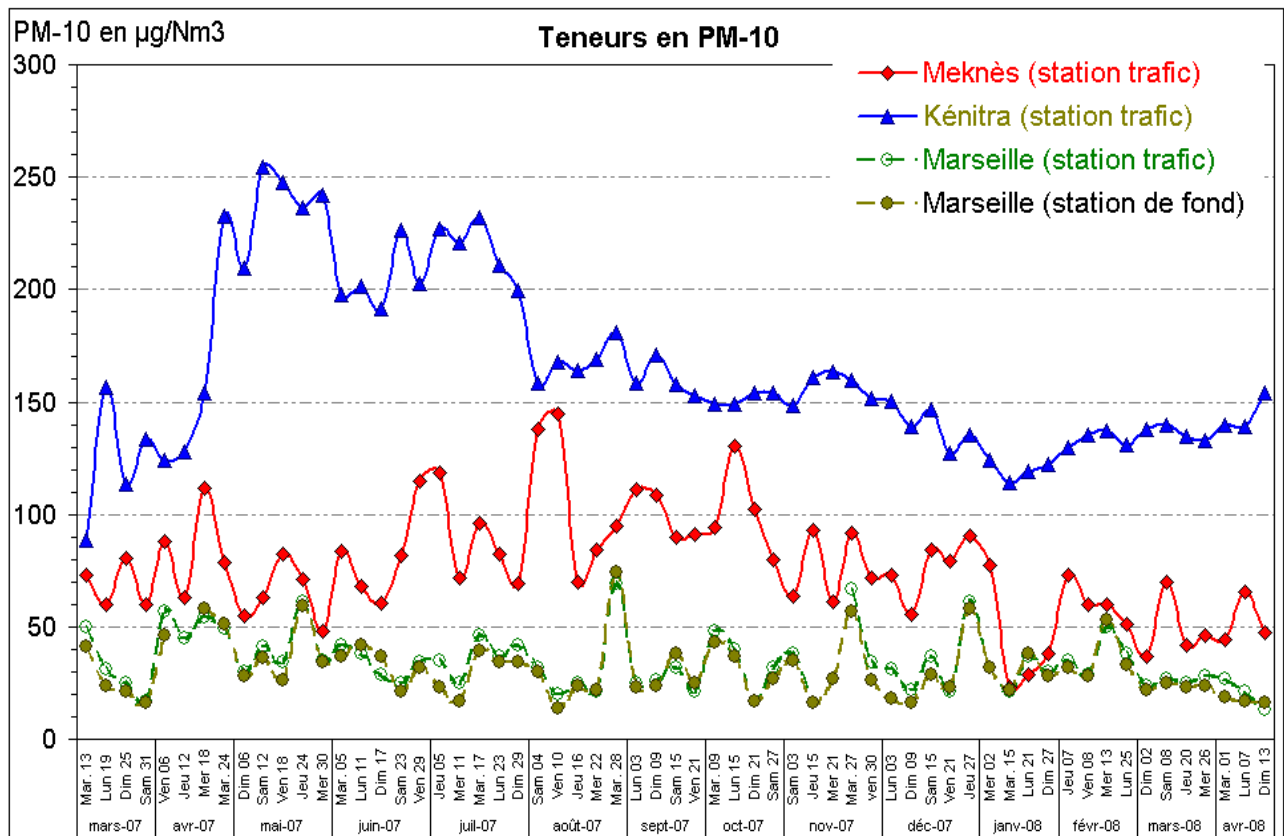
### 3.3. Comparaison avec des travaux antérieurs

Au niveau du Maroc, il existe très peu de données disponibles sur la pollution atmosphérique. De ce fait, on fera, une comparaison avec uniquement la ville de Kénitra [22, 23] ; les prélèvements ont été menés à la fois dans cette ville et la ville de Meknès et par les mêmes techniques de prélèvements. Au niveau Africain, la comparaison sera effectuée avec l'Alger (Algérie) [24], le Caire (Égypte) [25], Dar Es-Salaam (Tanzanie) [26], Addis-Abeba (Éthiopie) [27] et Harare (Zimbabwe) [28]. Nous avons considéré également trois exemples de travaux effectués en Europe : Marseille en France (site web [www.atmopaca.org](http://www.atmopaca.org)), plusieurs villes en Espagne [29, 30, 31] et Izmir en Turquie [32].

Dans le cas de la matière particulaire, on considère seulement, les villes de Kenitra et Marseille dont on dispose des valeurs journalières durant la période 2007-2008.

Nous présentons dans la [figure 6](#), une comparaison entre les profils des évolutions journalières des teneurs massiques de la matière particulaire pour la ville de Meknès (axe routier), Marseille (site de fond, trafic routier) (site web [www.atmopaca.org](http://www.atmopaca.org)) et Kenitra (trafic routier et industrie de tabac) [22, 23] pour les mêmes périodes de prélèvements effectuées entre 2007 et 2008.

Nous apercevons que les teneurs massiques de la matière particulaire enregistrées dans la ville de Meknès sont nettement supérieures à celles mesurées dans la ville de Marseille. Cette dernière est caractérisée par une similitude entre les teneurs enregistrées dans le site de fond et celui du trafic. Cependant, la ville de Kenitra présente les concentrations les plus élevées surtout en mai, juin et juillet 2007. Cela peut-être expliquer par l'accumulation des deux sources de pollution, à savoir, le trafic routier et l'industrie de tabac. L'arrêt du fonctionnement de la régie de tabac en août 2007 a entraîné la diminution des teneurs en PM-10, qui restent pourtant élevées à cause du trafic routier important dans cette ville avec un stationnement de nombreux autocars et des grands taxis.



**Figure 6 :** Profils des évolutions des teneurs massiques en matière particulaire enregistrées au niveau de Meknès, Kenitra et Marseille entre mars 2007 et avril 2008..

Dans le cas de la composition chimique, on considère l'ensemble des villes citées précédemment.

Le [tableau 6](#) [22] répertorie les résultats des analyses chimiques pour certaines villes marocaines, africaines et européennes ainsi que celles liées à cette étude.

Une comparaison avec [la ville de Kénitra au Maroc](#) [22, 23], montre qu'à l'exception du Cr et du Mn, les teneurs en PM-10, le Cu, le Ni, le Fe, le Pb et le Zn dans la ville de Kenitra sont plus importantes que dans la ville de Meknès. Ce qui appuie les interprétations de la figure 6.

La comparaison avec [Alger \(Algérie\)](#) [24] montre que les teneurs enregistrées pour les PM-10, le Cu, le Mn et le Pb dans la ville de Meknès sont moins importantes que celles mesurées au niveau des sites de proximité automobile dans la ville d'Alger, comparables à celles des sites urbains et supérieures à celles des sites périurbains. Mais pour le Fe, c'est la ville de Meknès qui présente les teneurs les plus élevées.

L'étude faite au [Caire en Égypte](#) en 1999 [25] révèle des concentrations tant en PM10 et PM2,5 qu'en métaux très élevées et largement supérieures à celles mesurées à Meknès. Vu que les carburants plombés ont été supprimés en Égypte en 1996, la très forte concentration mesurée doit être attribuée à d'autres activités

(métallurgie, combustion de déchets, ...) qu'aux transports, en plus d'un ré-envol important des poussières déposées sur les sols (rapport PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> = 0,28).

A Dar Es-Salaam en Tanzanie [26], les différentes concentrations enregistrées que se soit pour les PM-10 ou pour la composition chimique sont très inférieures à leurs homologues dans la ville de Meknès. En effet, les prélèvements ont été effectués pendant deux semaines durant la saison humide. Les concentrations qui y sont mesurées doivent donc être revues à la hausse dans la perspective d'une moyenne annuelle ; la valeur moyenne en PM-10 ne devrait pas alors être très différente de celle obtenue à Meknès. Le Pb y est considéré comme essentiellement d'origine industrielle.

A Addis-Abeba en Éthiopie [27], la valeur mesurée pour les PM-10 est tout à fait comparable à celle de Meknès, alors que, les concentrations en Pb mesurées à Addis-Abeba sont faibles (inférieures à 100 ng/m<sup>3</sup>). En fait, les carburants plombés ont été retirés en 2003 pour l'Éthiopie.

A Harare (Zimbabwe) [28] malgré une campagne de prélèvement majoritairement en saison sèche, les concentrations mesurées en PM-10 sont légèrement supérieures à celles mesurées à Meknès. Le rapport (PM<sub>2,5</sub>/PM-10) y est également un peu plus élevé (0,41). Les concentrations en Pb (160 à 185 ng/m<sup>3</sup> suivant les fractions) se rapprochent de celles de Meknès. Les teneurs en Ni sont très importantes.

Au niveau européen, la ville d'Izmir (Turquie) [32] malgré la tendance vers la baisse des différentes teneurs mesurées, elle présente une certaine analogie avec Meknès en ce qui concerne les concentrations en PM-10 et Pb (même après suppression des carburants au Plomb en 2003). Par contre, le rapport (PM<sub>2,5</sub>/PM-10) y est nettement plus élevé. De même pour certaines villes espagnoles [29, 30, 31], où en plus des sources anthropiques s'ajoute, l'influence du continent africain.

**Tableau 6** : Moyennes des teneurs massiques et élémentaires de la matière particulaire mesurées au niveau de la ville de Meknès et quelques villes africaines et européennes.

Lieu	Site	Granulo.	Dates	PM	Ca	Cl	Cr	Cu	K	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	Ti	Zn			
Maghreb	Meknès (Maroc)	Grosse	03/07-04/08	47	4490	797	92	33	488	1186	49	8	154	223	84	100			
		Fine		29	1697	490	82	29	341	557	35	12	152	218	58	111			
	Kenitra (Maroc)	Grosse	06/07-05/08	106	11576		60	156	1462	2114	76	146	217				661		
		Fine		52	1015		84	263	396	1936	23	166	342				1413		
	Alger (Algérie)	Trafic	PM10	2002 - 2007	80				103	640	58		299						
			PM2		43			63	283	31		209							
		Urbain	PM10		59			61	460	41		222							
			PM3		32			48	190	24		148							
	Périurbain	PM10	29			23	440	61		6									
		PM3	19			13	251	29		4									
Afrique	Le Caire (Égypte)	PM10	01/99-03/99	220					4300			4800							
		PM2,5		85				500			1600								
	Dar Es-Salaam (Tanzanie)	PM-10	05/05	51		1	6		610	16	2	58				370			
		Grosse	05/?	30			3		470	21	1	14				19			
		Fine	05/?	10			2		31	2	1	39				24			
	Addis-Abeba (Éthiopie)	urbain	PM-10	01/04-02/04	90								<100						
	Harare (Zimbabwe)	urbano-industriel	PM10	07/02-12/02	60							166	170						
			PM2,5	07/02-12/02	41							180	185						
	Izmir (Turquie)	urbain	PM10	06/04-05/05	80			26	45		921	29	16	141			289		
			PM2,5		64			24	36		393	16	16	92			177		
Europe	Huelva (Espagne)	Urbano-industriel	PM-10	2001	40				82				47			65			
			PM-10	2002	37				125				34			44			
	Espagne (Urbain, industrie, trafic)	Bemantes (rurale)	Pm10	01/01-12/01	19			1	8		5	3	9	1	7	16			
					44			2	23		11	4	15	6	52	14			
					32			2	31		10	2	24	4	34	84			
					37			3	33		9	4	26	5	23	35			
					38			2	70		11	4	37	4	60	51			
								8	49		23	7	57	6	84	98			
								32			25	33		87	33	103	3	25	420
Madrid (Espagne)	trafic	Pm10	06/99-05/01	34	1920	380	9	112	390	1930	22	4	118	8	56	93			
Pm2,5	48	660		420	2	41	210	210	8	2	99	3	21	59					

Les particules sont exprimées en µg/m<sup>3</sup> et les métaux en ng/m<sup>3</sup>.

#### 4. Conclusion

De nombreuses études ont été consacrées aux suivis des concentrations atmosphériques en Afrique et au Maghreb. Cependant, peu sont suffisamment longues pour mettre en avant des cycles saisonniers pour les polluants atmosphériques.

Au Maroc, d'une façon générale, il existe très peu de données disponibles sur la pollution atmosphérique. En effet, malgré l'existence de réseaux de surveillance pour certaines agglomérations, peu de données concernant ces réseaux sont à la disposition du public.

De ce fait, il nous a paru nécessaire de faire un suivi de la qualité de l'air, en général dans un site de proximité des axes routiers, en veillant à effectuer des prélèvements annuels afin de mieux cerner les variations saisonnières. Nous avons considéré pour cela, la matière particulaire, notamment les fractions fines et celles grossières, ainsi que leurs compositions chimiques.

Les résultats obtenus montrent dans le cas de la matière particulaire, que les fractions grossières présentent de fortes concentrations par rapport à celles des fines. Ces dernières ne présentent pas de variations importantes entre les jours de prélèvements. La variation saisonnière est bien marquée par une diminution en hiver et une élévation en été indiquant l'importance des apports terrigènes et la remise en suspension du sol. On constate également que l'influence de la pluviométrie est bien marquée pour les fractions grossières.

La comparaison avec les normes de qualité de l'air montre des dépassements significatifs des normes journalières et annuelles de la Directive Européenne et de l'OMS.

En ce qui concerne la composition chimique, en général, c'est l'Al, le Ca et le Fe qui ont les teneurs les plus importantes. De plus, la majorité des éléments analysés présente la même distribution pour les fractions fines et les fractions grossières (rapport élémentaire des fractions Fines/totale = 0,5) et en général, ne présentent pas une grande variabilité entre les quatre saisons (coefficient de divergence  $CD \ll 1$ ). Le calcul des Fractions Massiques (FM) montre que les éléments analysés ne présentent que 19 à 23 % de la masse totale des particules respectivement pour les fractions fines et grossières. Ce qui veut dire que presque 80 % qui reste peut contenir d'autres composants chimiques majeurs (Al, Ca, Si, ...), en plus des aérosols secondaires et de la matière organique, ...

Une comparaison avec des travaux antérieurs nous a permis de constater une forte ressemblance entre nos résultats et ceux obtenus dans différentes villes africaines. Au niveau du Maroc, les teneurs enregistrées restent moins élevées par rapport à celles mesurées à Kénitra. Au niveau européen, les teneurs en PM-10 sont largement inférieures à celles mesurées dans la ville de Meknès. Alors que pour l'Espagne et la Turquie, les niveaux de PM-10 et de la composition chimique enregistrés sont très voisins des nôtres.

Pluviométrie marquée.

#### Remerciements

Cette étude a été effectuée avec le soutien du programme franco-marocain VOLUBILIS (AI MA/05/129).

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, en particulier, H. Esskate (Responsable de l'agence de CTM à Meknès), A. Echaachouai (Directeur du collège Allal El Fassi à Meknès) et S. Foudeil (doctorant à la Fac. de Sc. de Meknès).

#### Références

1. Quisefit, J.P., Gaudichet, A. *Analisis Magazine* 26(9) (1998) M21-M27.
2. Begum, B.A., Kim, E., Biswas, S.K., Hopke, P.K. *Atmospheric Environment* 38 (2004) 3025-3038.
3. Begum, B.A., Biswas, S.K., Kim, E., Hopke, P.K., Khaliquzzaman, M. *Journal of the Air & Waste Management Association* 55 (2005) 227-240.
4. Begum, B.A., Biswas, S.K., Hopke, P.K., Cohen, D.D. *Aerosol and Air Quality Research* 6(4) (2006) 334-359.
5. Hitzenberger, R., Berner, A., Galambos, Z., Maenhaut, W., Cafmeyer, J., Schwarz, J., Müller, K., Spindler, G., Wiedprecht, W., Acker, K., Hillamo, R., Mäkelä, T. *Atmospheric Environment*, 38 (2004) 6467-6476.
6. Salma, I., Dal Maso, M., Kulmala, M., Záray, G. *Microchemical Journal* 73 (2002) 19-26.
7. Záray, G., Óvári, M., Salma, I., Steffan, I., Zeiner, M., Caroli, S. *Microchemical Journal* 76(90) (2004) 31-34.
8. Maenhaut, W. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 49 (1990) 518-532.
9. Park, S.S., Kim, Y.J., *Atmospheric environment* 38 (2004) 1459-1471.

10. Airfobep, 2003. Mesure des niveaux moyens de dioxyde de soufre de la région de l'ouest des Bouches-du-Rhône. 36 p.
11. Airfobep, La qualité de l'air en région Midi-Pyrénées. Rapport annuel 2008, Oramip, (2008) 72 p.
12. JOUE,. Directive 2004/107/CE du parlement européen et du conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant. *Journal Officiel de l'Union Européenne* N° 23 (2005) 3-16.
13. Oramip, La qualité de l'air en Midi-Pyrénées. Rapport annuel, (2008) 72 p.
14. WHO, Guidelines for air quality. Geneva, 2000
15. RNSQA, Réseau National de Surveillance de la Qualité de l'Air. Bulletin mensuel d'information sur la qualité de l'air en Tunisie, N° 70 (2007), 8 p.
16. MATEE, Pollution atmosphérique au Maroc, situation en 2002. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement Secrétariat d'État Chargé de l'Environnement. Service de l'Air & Laboratoire National de l'Environnement, Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques, (2003) 45 p.
17. Harrison, R.M., Tilling, R., Callen Romero, M.S., Harrad, S., Jarvis, K. *Atmospheric Environment* 37 (2003) 2391-2402.
18. Lin, C.C., Chen, S.J., Huang, K.L., Hwang, W.I., Chang-Chien, G.P., Lin W. Y. *Environmental Science Technology* 39(21) (2005) 8113-8122.
19. Weckwerth, G. *Atmospheric Environment* 35 (2001) 5525-5536.
20. Wahlin, P., Berkowicz, R., Palmgren, F. *Atmospheric Environment* 40 (2006) 2151-2159.
21. Elichegaray, C., Bouallala, S., Colosio, J., Desqueyroux, H., Galsomiès, L., Pernin, H., Poisson, N., Stroebel, R., La qualité de l'air en France - tendances et perspectives. ADEME/Département surveillance de la qualité de l'air, (2003) 16 p.
22. Ait Bouh, H, Application des techniques d'analyses physico-chimiques aux questions environnementales : Evaluation et suivi de la qualité de l'air dans la ville de Meknès, Thèse de Doctorat, Université Moulay Ismaïl Meknès, (2012) 230 p.
23. Zghaid, M., Noack, Y., Bounakhla, M., Benyaich, F. *Pollution Atmosphérique : climat, Santé, Société* 203 (2009) 313-324.
24. Kerbachi, R., Oucher, N., Bitouche, A., Berkouki, N., Demri, B., Boughedaoui, M., Joumard, R., Pollution par les particules fines dans l'agglomération d'Alger. Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie. Actes, ENP edition, Alger, (2009) pp. 31-40.
25. Abu-Allaban, M., Lowenthal, D.H., Gertler, A.W., Labib, M. *Environmental, Monitoring, Assessment* 133 (2007) 417-425.
26. Mkoma, S.L., Maenhaut, W., Chi, X., Wang, W., Raes, N. *Atmospheric Environment* 43 (2009) 631-639.
27. Etyemezian, V., Tesfaye, M., Yimer, A., Chow, J.C., Mesfin, D., Nega, T., Nikoloch, G., Watson, J.G., Wondmagegn, M. *Atmospheric Environment* 39 (2005) 7849-7860.
28. Kuvarega, A.T., Taru, P. *Environmental Monitoring Assessment* 144 (2008) 1-14
29. Artíñano, B., Salvador, P., Alonso, D.G., Querol, X., Alastuey, A. *Environmental pollution* 125 (2003) 453-465.
30. Querol, X., Alastuey, A., Viana, M.M., Rodriguez, S., Artíñano, B., Salvador, P., Garcia do Santos, S., Fernandez Patier, R., Ruiz, C.R., De la Rosa, J., Sanchez de la Campa, A., Menendez, M., Gil, J.I. *Aerosol Science* 35 (2004) 1151-1172.
31. Sánchez-Rodas, D., Sánchez de la Campa, A.M., De la Rosa, J., Oliveira, V., Gómez-Ariza, J.L., Querol, X., Alastuey, A. *Chemosphere* 66 (2007) 1485-1493.
32. Yatkin, S., Bayram, A. *Atmospheric Environment* 71 (2008) 685-696.