

## Etude de la relation entre l'exposition à la pollution atmosphérique liée au trafic routier et l'incidence des pathologies respiratoires au niveau de la ville de Meknès, Maroc

### [ Study of the relationship between exposure to road traffic-related air pollution and the incidence of respiratory pathologies in the city of Meknes, Morocco ]

Ibrahim El Ghazi<sup>1</sup>, Imane Berni<sup>1</sup>, Aziza Menouni<sup>1</sup>, Mohammed Amane<sup>1</sup>, Marie-Paule Kestemont<sup>2</sup>, and Samir El Jaafari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cluster des Compétence «Environnement & santé», Université Moulay Ismail, Meknès, Morocco

<sup>2</sup>Université Catholique de Louvain la neuve, Belgium

---

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** For the monitoring of spatio-temporal variations of the nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) content, passive diffusive samplers have been deployed in 14 near-road and residential sites for 14 days to measure NO<sub>2</sub>. In parallel with the winter campaign to measure this tracer, road traffic counting sessions were carried out on the city's main roads.

The coupling of the results of the measurement campaigns and the counting sessions under Arcgis 9.3 made it possible to determine the areas most affected by automobile pollution and to carry out a high spatial resolution mapping of the pollutant prospected.

The results of this study show that atmospheric NO<sub>2</sub> concentrations reach maximum values in the city center and decrease towards its periphery.

The analysis of the epidemiological situation of the principal diseases related to air pollution in the city of Meknes during the study period (2010-2014) showed that among subjects aged 5 years and older, acute respiratory diseases occurred more in women and that the age group most affected was between 15 and 49 years, while asthma attacks were noted mainly among women aged 50 years and older. Acute respiratory illness and asthma attacks were more prevalent in the winter and fall. Among children under 5 years of age, the age group most affected by pneumonia was under 11 months of age.

The use of spatialized GIS-based health indicators of these diseases, as well as the location of stationary and mobile sources of air pollution and measured NO<sub>2</sub> levels, has made it possible to detect that residents in areas with heavy road traffic are likely to be more affected than those near areas of industrial activity. The type of habitat also contributes significantly to the development and exacerbation of the pathologies studied, especially in the districts of the old Medina.

**KEYWORDS:** Air pollution, respiratory pathologies, NO<sub>2</sub>, mapping, GIS, Meknes.

**RESUME:** Pour la surveillance des teneurs du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), des tubes à diffusion passive ont été déployés dans 14 sites de proximité automobile et de fond pour une durée de 14 jours. Parallèlement à la campagne hivernale de mesure de ce traceur, des sessions de comptage du trafic routier ont été réalisées au niveau des principaux axes routiers de la ville.

Le couplage des résultats des campagnes de mesures et des séances de comptage sous Arcgis 9.3 a permis de déterminer les zones les plus affectées par la pollution automobile et de réaliser ainsi une cartographie à haute résolution spatiale du polluant prospecté. Les résultats de cette étude montrent que les concentrations atmosphériques en NO<sub>2</sub> atteignent des valeurs maximales dans le centre-ville et décroissent vers sa périphérie.

L'analyse de la situation épidémiologique des principales maladies liées à la pollution atmosphérique dans la ville de Meknès durant la période d'étude (2010-2014) a montré que chez les sujets âgés de 5 ans et plus, les affections respiratoires aiguës survenaient plus chez les femmes et que la tranche d'âge la plus touchée a été celle allant de 15 à 49 ans, tandis que les crises d'asthme ont été notées surtout chez les femmes âgées de 50 ans et plus. Les affections respiratoires aiguës et les crises d'asthme ont été plus répandues en

hiver et en automne. Chez les enfants âgés de moins de 5 ans, la tranche d'âge la plus touchée par la pneumonie était celle des moins de 11 mois.

L'exploitation des indicateurs sanitaires spatialisés sous système d'information géographique (SIG) de ces maladies, ainsi que la localisation des sources fixes et mobiles de la pollution de l'air et les teneurs mesurées en NO<sub>2</sub>, a permis de déceler que les résidents dans des zones de fort trafic routier sont susceptibles d'être plus touchés que ceux avoisinant les zones d'activités industrielles. Le type d'habitat contribue également, d'une manière significative, au développement et à l'exacerbation des pathologies étudiées surtout au niveau des quartiers de l'ancienne Médina.

**MOTS-CLEFS:** Pollution atmosphérique, pathologies respiratoires, NO<sub>2</sub>, cartographie, SIG, Meknès.

## 1 INTRODUCTION

La problématique de la pollution de l'air touche aussi bien les pays riches que ceux en voie de développement avec des degrés différents. D'après l'OMS, 9 personnes sur 10 respirent de l'air de qualité médiocre [1], 5,5 millions de décès prématurés dans le monde sont imputables à la pollution atmosphérique qui représente le quatrième facteur de risque mortel dans le monde.

La détérioration de la qualité de l'air, se répercute sur la santé humaine en augmentant l'incidence des pathologies respiratoires et cardiovasculaires [2], [3], [4], des décès prématurés [5] et de cancer [6], [7]. Les pathologies respiratoires représentent l'une des causes majeures de morbidité et de mortalité [8]. Un milliard de personnes souffrent de maladies respiratoires chroniques dont 300 millions d'asthme et plus de 210 millions de la bronchopneumopathie obstructive chronique [9].

A l'instar de la majeure partie des pays du monde, le Maroc n'est pas épargné de la pollution atmosphérique [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20].

Au Maroc, les études Casa-Airpol, Mohammedia-Airpol, ainsi que l'étude d'impact de la pollution atmosphérique sur les habitants de la ville de Safi ont montré l'existence d'un lien étroit entre la pollution de l'air et les effets sur la santé [21], [22], [23].

Au niveau de la ville de Meknès les liens entre la pollution atmosphérique et la santé ne sont pas suffisamment évalués, malgré que les concentrations de certains traceurs dépassent les valeurs limites fixées par l'OMS [14], [20]. De ce fait, la présente étude vise à évaluer le profil épidémiologique et spatial des consultations pour affections respiratoires associées à l'exposition au NO<sub>2</sub>, qui est un traceur de la pollution de proximité automobile au niveau de la ville de Meknès.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le suivi des variations spatio-temporelles des niveaux du NO<sub>2</sub> et des consultations pour pathologies respiratoires a été mené dans la ville de Meknès (33°53'N, 5°33'W), localisée au Nord-Ouest du Maroc à une altitude de 564 m (**Fig.1**).

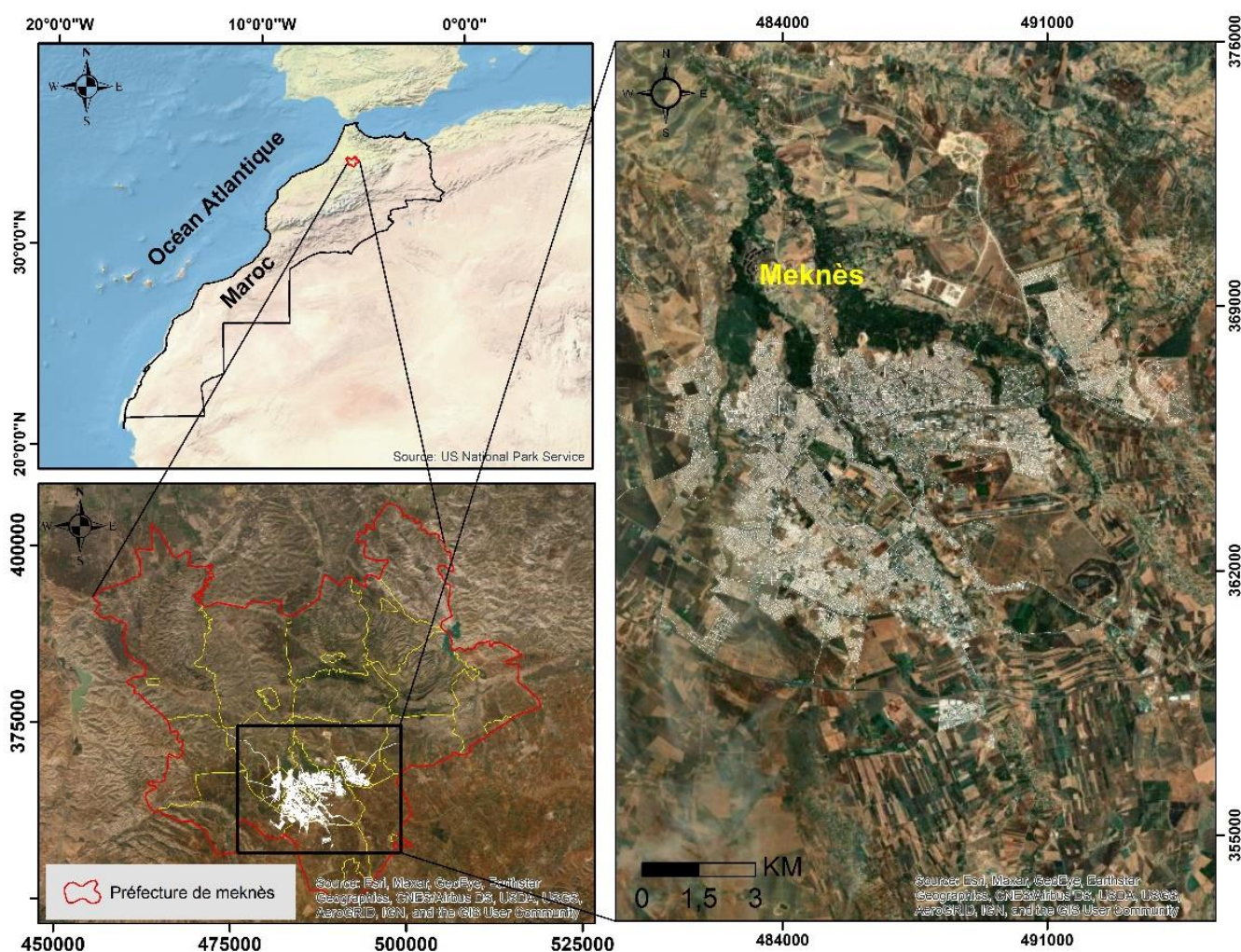


Fig. 1. Localisation de la ville de Meknès

Le régime climatique est de type méditerranéen, marqué par un hiver humide et froid et un été sec et chaud. De par sa position géographique, la ville représente un nœud de communication entre les plaines atlantiques, les collines pré-rifaines, le Moyen Atlas et les hauts plateaux de l'Oriental. Avec une population d'environ 632 079 habitants en 2014, Meknès est placée parmi les six grandes villes du Royaume. Cette ville est sujette à une pollution atmosphérique liée au trafic routier, aux zones d'activités industrielles ainsi qu'au secteur de l'artisanat [24].

## 2.2 ÉCHANTILLONNAGE DE NO<sub>2</sub>

Pour le monitoring des teneurs en NO<sub>2</sub>, des tubes à diffusion passive, de type Palmes ont été déployés au niveau de 14 sites de prélèvements, répartis en sites de proximité automobiles (P) et ceux de fond (F) (Fig. 2 et Tableau I). Les deux campagnes de mesures en été menées en été (du 14/07/2014 au 28/07/2014) et en hiver (du 25/12/2014 au 12/01/2015).

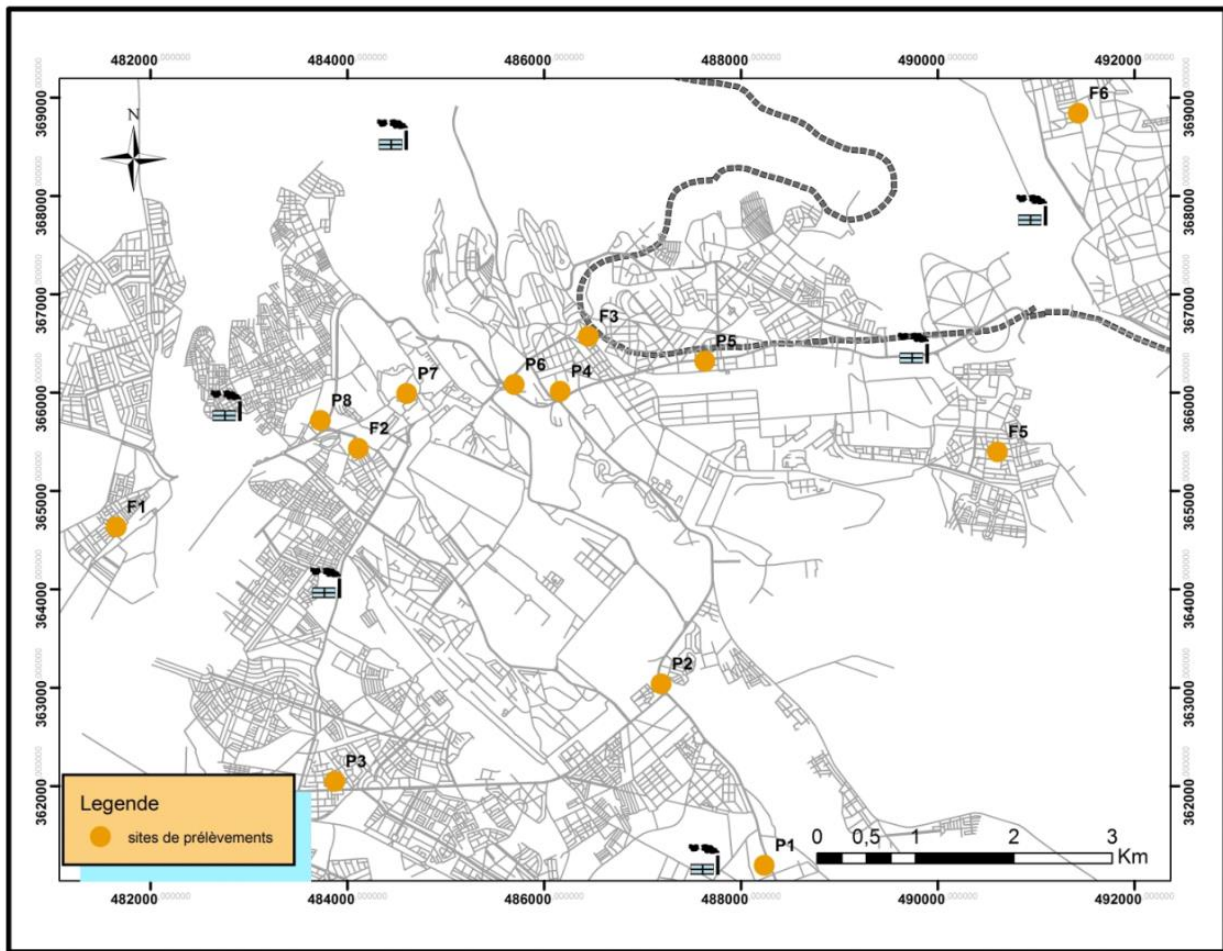


Fig. 2. Localisation des sites de prélèvement

Tableau 1. Répartition des sites de prélèvements par type et par localisation

Points	Lieu	Typologie
P1	Point d'intersection entre la route nationale n°13 et la route nationale n°6	trafic
P2	Point d'intersection de l'avenue Bir Anzarane et du boulevard Zitoune	trafic
P3	Avenue Zitoune (district de Marjane)	trafic
P4	Point d'intersection de l'avenue Bir Anzarane et l'avenue des forces armées royales	trafic
P5	Avenue des forces armées royales (FAR) près de la grande gare	trafic
P6	Point d'intersection de l'avenue Mohammed VI et l'avenue des forces armées royales	trafic
P7	Rue Dar Smane, point de jointure de l'ancienne Médina à la ville nouvelle	trafic
P8	La gare routière de la ville de Meknès	trafic
F1	Commune de Toulal	Fond
F2	Quartier de Riad	Fond
F3	Ville nouvelle (gare d'el Amir Abdelkader)	Fond
F4	Quartier de l'Hacienda	Fond
F5	Quartier d'El Bassatine	Fond
F6	Commune d'Ouisslane	Fond



Après deux semaines d'exposition, les tubes Palmes sont relevés et le NO<sub>2</sub> piégé dans les grilles a été quantifié par un dosage colorimétrique des ions nitrites suivi d'une analyse spectrophotométrique selon la norme NBN EN 16339 [25]. La cartographie des concentrations de NO<sub>2</sub> a été réalisée par interpolation spatiale selon la méthode de pondération de type inverse distance (IDW).

### 2.3 COMPTAGE DU TRAFIC ROUTIER

En parallèle avec la campagne de mesure hivernale du NO<sub>2</sub>, des sessions de comptage du trafic routier ont été menées durant le mois de janvier 2015 dans les principaux axes routiers de la zone prospectée. Le comptage a été effectué par des opérateurs équipés de cliquers manuels.

Pour le suivi des variations intra-journalières, les opérations de comptage ont été focalisées surtout sur les heures de pointe: matin (7h 30/9h 30), midi (11h30/14h30) et soir (17h30 /19h30). Pour étudier les variations inter-journalières et les fluctuations du trafic routier au cours des journées ouvrables et fermées, une semaine de comptage par site était nécessaire. Douze sites du trafic ont été sélectionnés et le choix de leurs emplacements a été dicté par la nature du tronçon routier et l'emplacement des échantillonneurs passifs (Fig. 3). Le trafic routier moyen est exprimé en véhicules par jour (v/j)

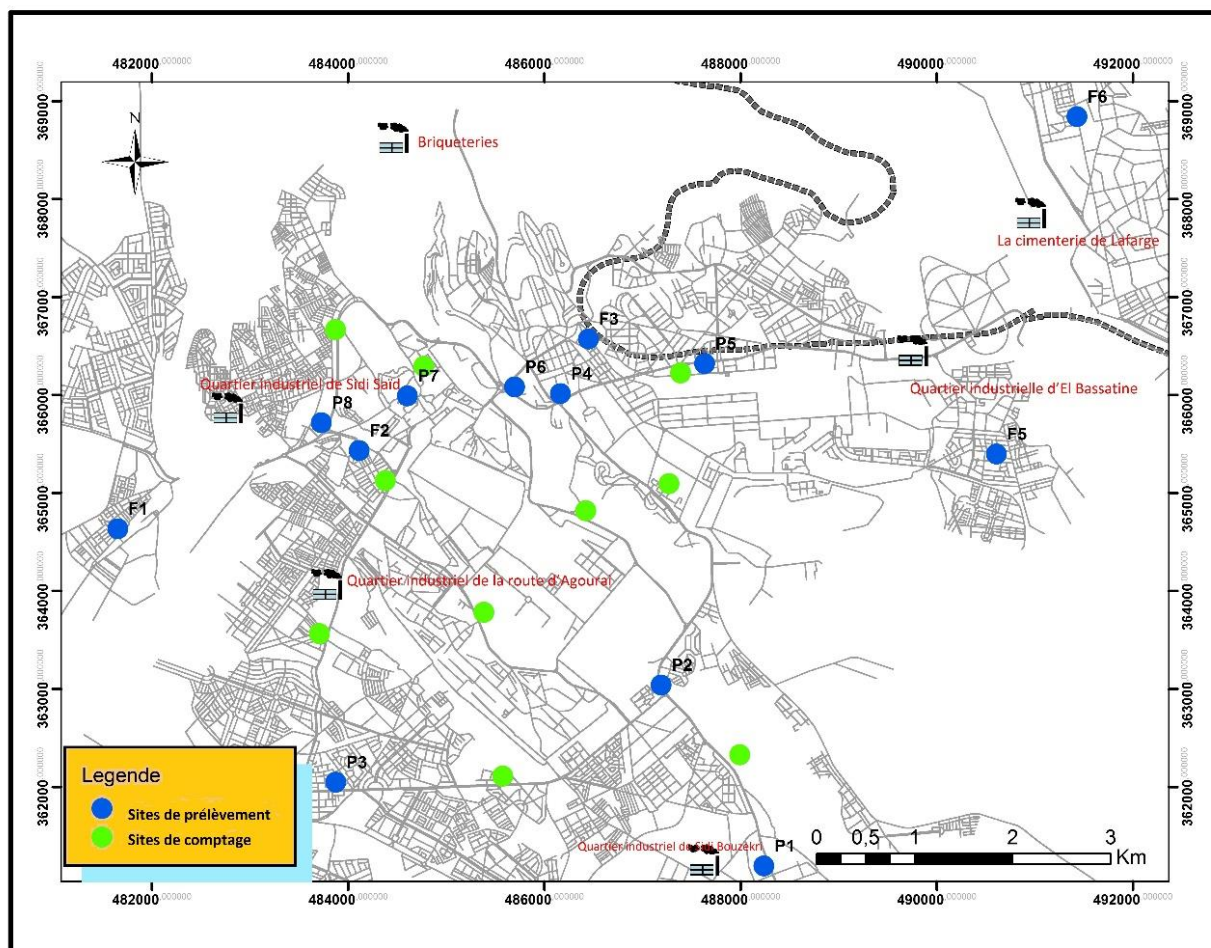


Fig. 3. Localisation des sites de comptage

### 2.4 ETUDE DU PROFIL ÉPIDÉMIOLOGIQUE DES PATHOLOGIES RESPIRATOIRES

Il s'agit d'une étude rétrospective et descriptive étudiant l'incidence des pathologies respiratoires au niveau des centres de santé de la ville de Meknès (Fig. 4) sur une période de 5 années (2010-2014). Les données sanitaires sont obtenues auprès de la cellule préfectorale d'épidémiologie de la préfecture de Meknès qui centralise les rapports trimestriels acheminés des différentes structures

sanitaires urbaines. Les informations exploitées sont: l'âge, le sexe, le centre de santé de rattachement et le trimestre de déclaration. Ces données ont été saisies et analysées par Microsoft Excel 2010.

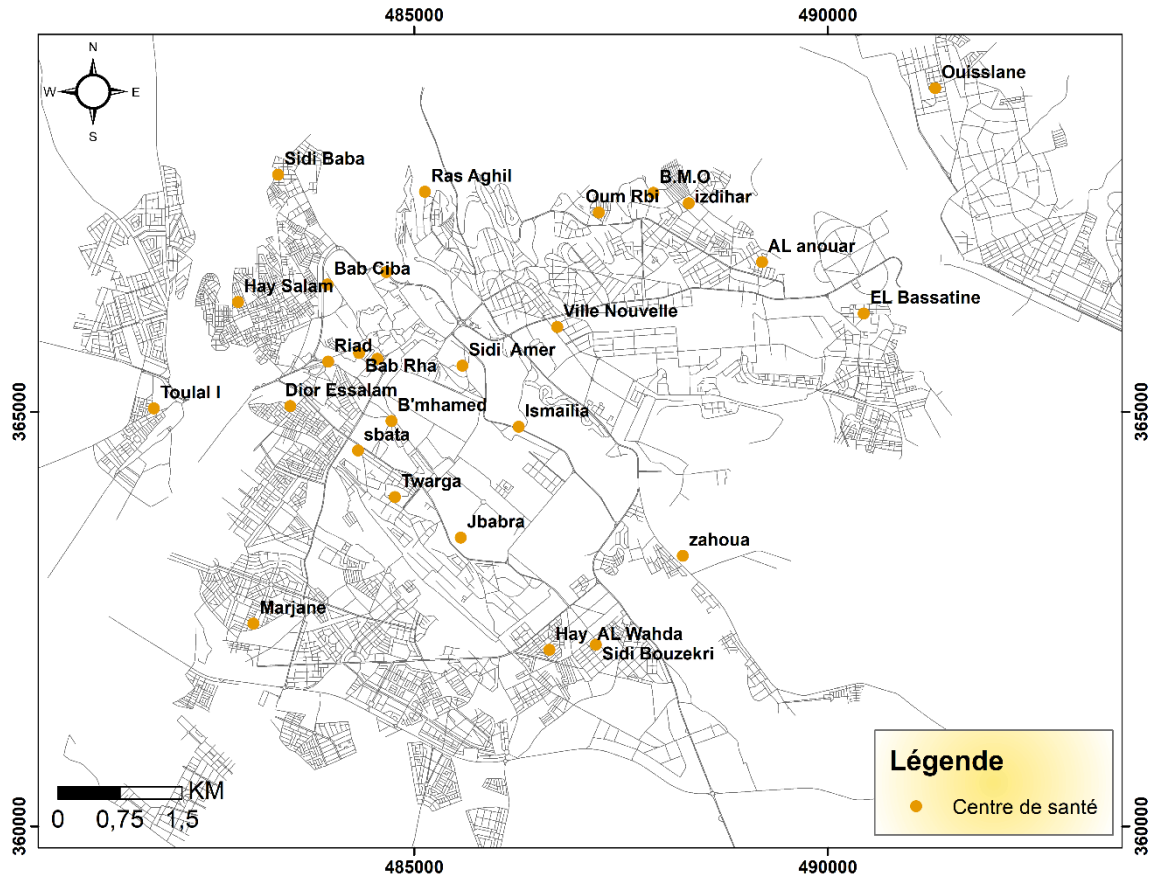


Fig. 4. Localisation des structures sanitaires de la ville de Meknès

### 3 RÉSULTATS

#### 3.1 ETUDE DES TENEURS DE NO<sub>2</sub>

La concentration moyenne du NO<sub>2</sub> mesurée durant la campagne estivale (33.09 µg/m<sup>3</sup>) est très proche de celle notifiée en hiver (33.20 µg/m<sup>3</sup>).

La concentration moyenne du NO<sub>2</sub> mesurée au niveau des sites de proximité automobiles est égale à 41,89 µg/m<sup>3</sup> et celle des sites de fond est de 20,63 µg/m<sup>3</sup>.

Les teneurs atmosphériques en NO<sub>2</sub> atteignent des valeurs maximales au centre-ville et tendent à décroître vers sa périphérie.

Les plus fortes concentrations moyennes correspondent à des sites de proximité automobile du centre-ville: Rue Dar Smane (59,41µg/m<sup>3</sup>), intersection de l'avenue des FAR et de l'avenue Bir Anzarane (58,38 µg/m<sup>3</sup>), intersection de l'avenue Bir Anzarane et du boulevard Zitoune (45,57 µg/m<sup>3</sup>) et croisement de l'avenue Mohammed VI et des FAR (45,49 µg/m<sup>3</sup>).

Les sites de prélèvement implantés à proximité des zones industrielles (Sidi Bouzekri, Ouislane, Route d'Agourai, Sidi Saïd et El Bassatine) présentent de très faibles niveaux du traceur prospecté (Fig. 5).

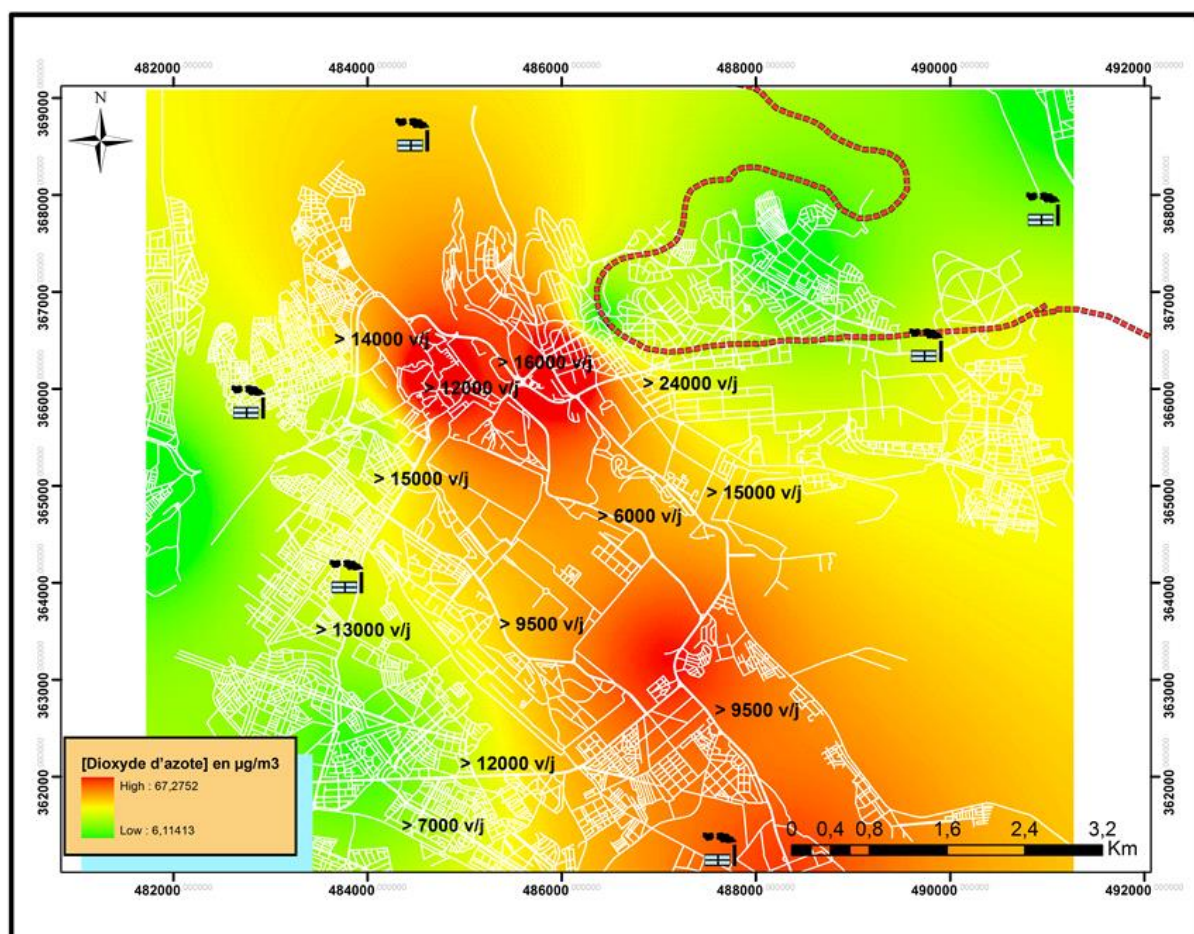


Fig. 5. Variations spatiales des teneurs du NO<sub>2</sub> en fonction du trafic routier moyen

En hiver, la dispersion du NO<sub>2</sub> est localisée près des sources émettrices. Lors de la campagne estivale, la dispersion de NO<sub>2</sub> est caractérisée par une forme en plume étalée vers le sud-est de la ville.

### 3.2 ETUDE DU PROFIL ÉPIDÉMIOLOGIQUE DES PATHOLOGIES RESPIRATOIRES CHEZ LES SUJETS ÂGÉS DE 5 ANS ET PLUS

L'analyse de la répartition des consultations pour affections respiratoires aiguës et pour crise d'asthme selon le sexe montre que pour les deux indicateurs sanitaires, les femmes ont été légèrement plus touchées que les hommes, avec respectivement, 53,23 % versus 46,77 % et 52,51 % versus 47,49 % (Tableau II) avec des sex-ratios de 1,13 et de 1,10.

Tableau 2. Motifs de consultation chez les sujets âgés de 5 ans et plus selon le sexe

Consultations respiratoires	Masculin		Féminin	
	Effectifs	Taux (%)	Effectifs	Taux (%)
Affections aiguës	56019	46,77	63769	53,23
Crise d'asthme	3996	47,49	4418	52,51

L'analyse des résultats consignés dans le tableau II montre que les affections respiratoires aiguës ont été plus fréquentes chez la tranche d'âge de 15-49, avec 36,54 % et la tranche d'âge la moins touchée était celle de 50 ans et plus avec 28,02 %. Pour les crises d'asthme, 47,16 % des consultants appartiennent à la tranche de 50 ans et plus suivie de celle de 15-49 ans, avec 42,50 % (Tableau III).

**Tableau 3. Motifs de consultation chez les sujets âgés de 5 ans et plus selon la tranche d'âge**

Consultations respiratoires	[5-14 ans]		[15-49ans]		50 ans et plus	
	Effectifs	Taux (%)	Effectifs	Taux (%)	Effectifs	Taux (%)
<b>Affections aiguës</b>	42435	35,42	43780	36,55	33573	28,02
<b>Crise d'asthme</b>	870	10,34	3576	42,50	3968	47,16

L'analyse de la répartition trimestrielle des consultations pour affections respiratoires aiguës et pour crise d'asthme montre que les affections respiratoires aiguës et les crises d'asthme ont été plus répandues en hiver et en automne (**Tableau IV**).

**Tableau 4. Motifs de consultation chez les sujets âgés de 5 ans et plus selon la saison**

Consultations respiratoires	Hiver	Printemps	Eté	Automne
<b>Affections aiguës</b>	29,56 %	24,62 %	21,13 %	24,67 %
<b>Crise d'asthme</b>	29,44 %	22,98 %	19,95 %	27,62 %

Si la répartition des consultations respiratoires est variable dans le temps, elle est aussi dans l'espace. En effet, durant la période d'étude (2010-2014), 119665 nouvelles consultations pour affections respiratoires aiguës ont été notifiées au niveau des centres de santé de la ville de Meknès. Si nous considérons le nombre de consultations signalées, les centres de santé qui ont enregistré le plus de cas sont: Bni M'Hamed (11850 consultations), Oum Rabia (11404), Marjane (9815), Sidi Amar (7877), Jbabra (7475) et Riad Al Kostani (6633). Alors que si nous rapportons le nombre de nouvelles consultations respiratoires par rapport à la population de chaque centre de santé nous trouvons que les centres de santé où les plus forts taux d'incidence annuels moyens ont été notés sont: Bni M'Hamed (1865 consultations pour 10000 habitants), Sidi Amar (1404), Oum Rabia (1269), Al Anouar (1190), Jbabra (874) et Riad Al Kostani (838).

Les plus forts taux d'incidence annuels moyens de consultations pour crise d'asthme ont été enregistrés au niveau de Riad Al Kostani (1394/100000), Al Anouar (788), Izdihar (792), El Bassatine (680), Ville Nouvelle (634) et Bab Belkari (591). Alors que les plus faibles taux ont été déclarés à Marjane (0 pour 100000 hab), Touargua (29), Ouislane (34), AL Wahda (49), Hay Salam (61) et Sidi Bouzekri (81) (**Fig.6**).

Les centres de santé avoisinant les quartiers industriels d'Ouislane (Saada, Ouislane et Al Boustane), Sidi Bouzekri (Sidi Bouzekri et Al Wahda) et d'El Bassatine présentent des faibles incidences (**Fig. 6 et 7**).



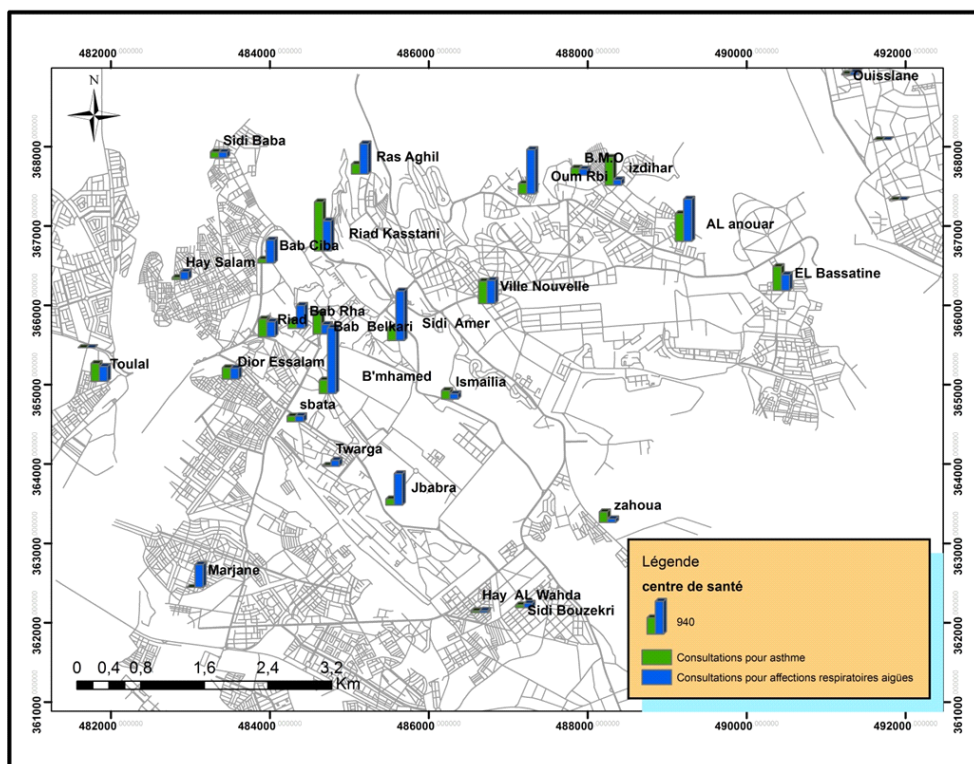


Fig. 6. Incidences annuelles moyennes des consultations respiratoires chez les sujets âgés de 5 ans et plus par centre de santé

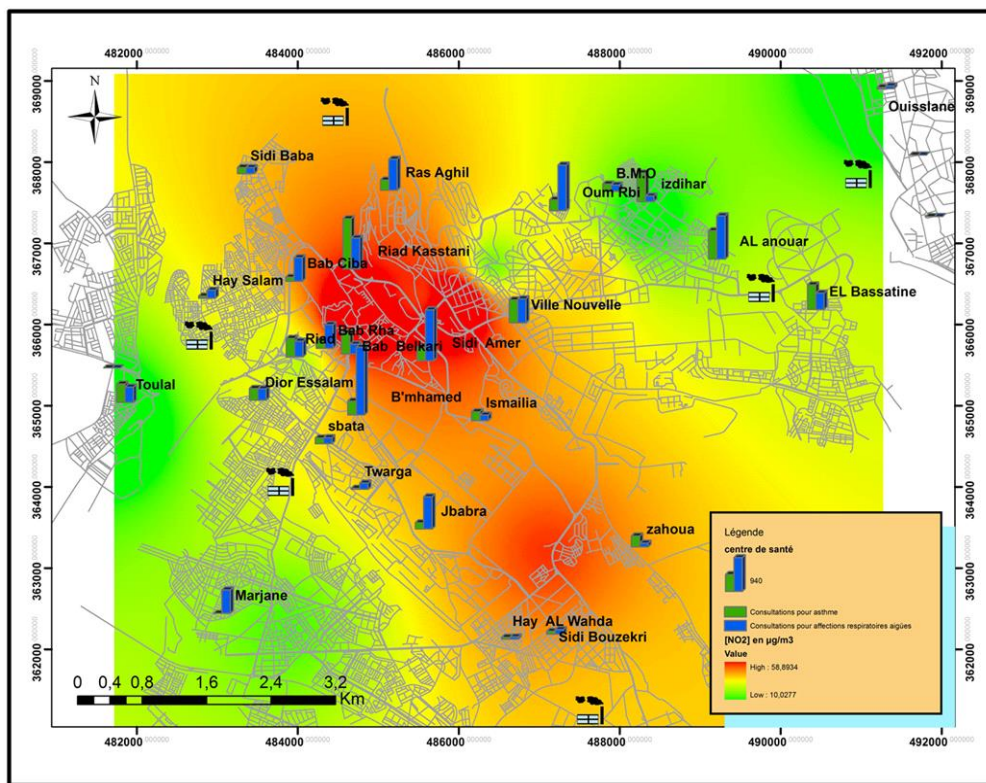


Fig. 7. Incidences annuelles moyennes des consultations chez les sujets âgés de plus de 5 ans par centre de santé superposées aux teneurs du NO<sub>2</sub>

### 3.3 ETUDE DU PROFIL ÉPIDÉMIOLOGIQUE DES PATHOLOGIES RESPIRATOIRES CHEZ LES ENFANTS ÂGÉS DE MOINS DE 5 ANS

A Meknès, 26070 cas de pneumonie ont été rapportés par le réseau de soins de base de la ville. L'analyse de la répartition des cas par âge, montre que la tranche d'âge la plus touchée était celle de 24-59 mois avec 37,74 %, suivie de celle de 12-23 mois qui représentait 31,57 % des cas recensés (**Tableau V**).

Les centres de santé de la ville de Meknès ont enregistré 1081 cas de pneumonie sévère chez les moins de cinq ans. L'analyse de la répartition des cas par âge a montré que 51,15 % des consultants avaient moins de 11 mois, 79,27 % moins de 23 mois alors que ceux ayant 2 ans et plus ne représentaient que 20,72 % (**Tableau V**).

**Tableau 5.** Répartition des pathologies respiratoires chez les moins de 5 ans selon l'âge

Pathologies respiratoires	Tranche d'âge		
	0-11 mois	12-23 mois	24-59 mois
Pneumonie sévère	51,15 %	28,12 %	20,72 %
Pneumonie	30,75 %	31,57 %	37,67 %

La pneumonie et la pneumonie sévère étaient plus fréquentes durant la période automne-hiver (**Tableau VI**).

**Tableau 6.** Répartition des pathologies respiratoires chez les moins de 5 ans selon l'âge

Pathologies respiratoires	Hiver	Printemps	Été	Automne
Pneumonie sévère	40,61 %	22,29 %	10,82 %	26,27 %
Pneumonie	39,93 %	20,45 %	13,11 %	26,49 %

Les plus fortes incidences de la pneumonie ont été enregistrées à: Riad, Izdihar et Bab Rha, alors que pour la pneumonie sévère les plus forts taux d'incidences ont été rapportés au niveau du Zahoua, Ras Aghil et Riad (Figure 9).

Les centres de santé situés près des sites d'activités industrielles ne présentent pas de fortes fréquences d'affections broncho-pulmonaires (**Figures 8 et 9**).

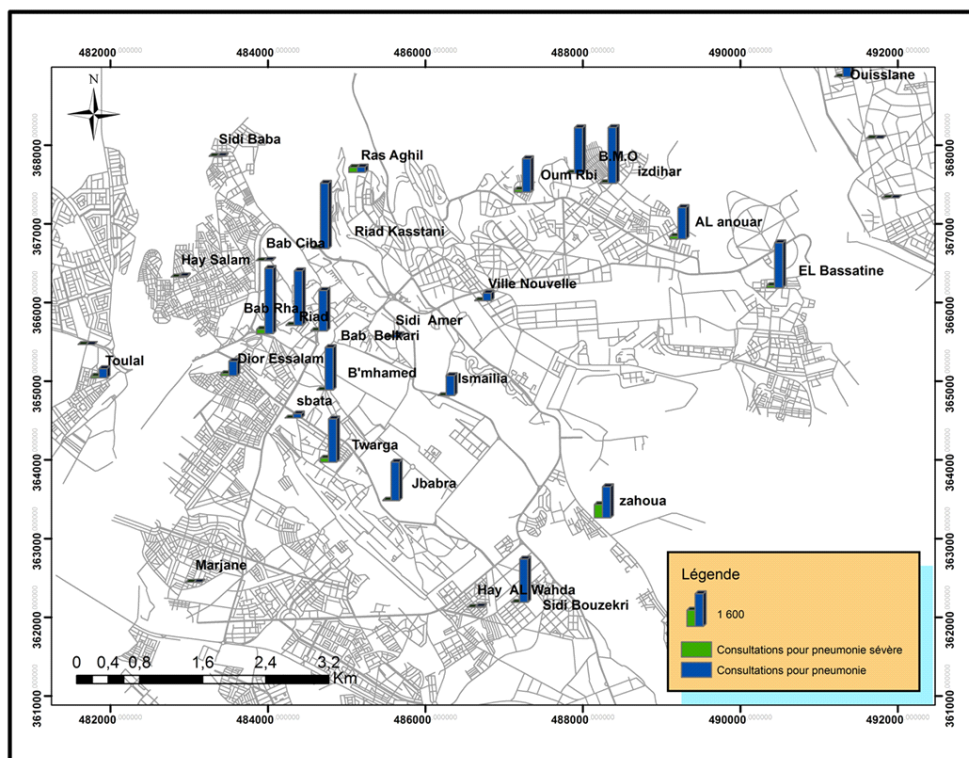


Fig. 8. Incidences annuelles moyennes des consultations pour infections respiratoires (pneumonie et pneumonie sévère) par centre de santé

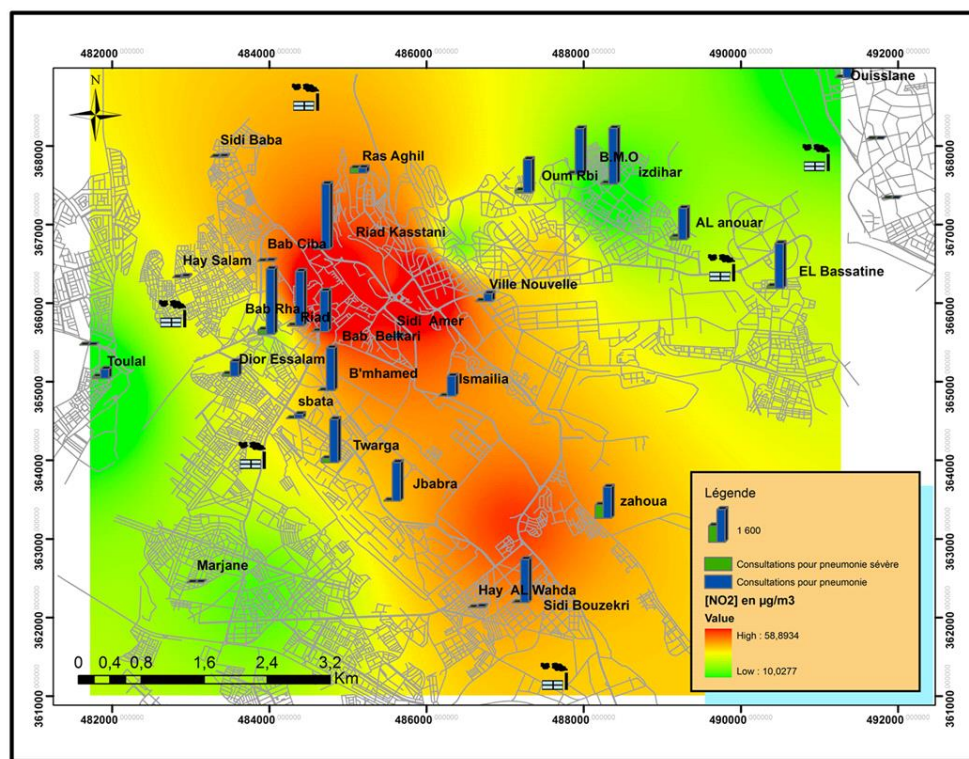


Fig. 9. Incidences annuelles moyennes des consultations pour infections respiratoires (pneumonie et pneumonie sévère) par centre de santé en fonction des concentrations de dioxyde d'azote

#### 4 DISCUSSIONS

L'analyse des résultats montre que pour les affections respiratoires aiguës, les femmes (53,23 %) étaient légèrement plus touchées que les hommes (46,76 %) avec un sex-ratio de 1,13. La tranche d'âge la plus touchée était celle allant de 15 à 49 ans, avec 36,11 % alors que la tranche d'âge la moins représentée était celle de 50 ans et plus, avec 29 %. Ces résultats ont été appuyés par ceux d'une étude menée au niveau de la ville de Meknès et portant sur 30 centres de santé [20]. L'étude menée par Boularab a montré que l'âge représente un facteur de risque chez les sujets âgés de 15-49 ans, notamment plus important chez les femmes (risque relatif (RR) qui varie de 2,48 à 2,82) que chez les hommes (RR varie de 1,71 à 2,20). La population âgée de 50 ans et plus présente des RR moins importants variant entre 1,07 et 1,26, indépendamment du sexe. L'âge est un facteur protecteur pour les enfants de 5 à 14 ans en présentant des RR significativement inférieurs au seuil de 1. Le sexe ratio (H/F) était généralement inférieur à 1.

Pour les consultations pour crise d'asthme, les femmes ont été légèrement plus affectées que les hommes avec 53,12 % versus 46,85 % pour un sex-ratio de 1,13. La tranche d'âge la plus représentée a été celle de 50 ans et plus, suivie de celle allant de 15 à 49 ans. A Meknès, Boularab [20] a montré que l'âge est un facteur de risque pour la population active de 15 ans et plus avec des RR variant de 1,7 à 4,08. Le risque d'avoir des crises d'asthme était plus élevé chez les femmes de 15 à 49 ans (RR fluctuant de 2,66 à 4,08). Les rapports H /F ont été significativement inférieurs à 1. Pour la tranche d'âge de 5 à 14 ans, l'âge était un facteur protecteur avec des RR qui variaient de 0,05 à 0,20.

Pour la pneumonie, la tranche d'âge la plus touchée a été celle de 24-59 mois, suivie de celle de 12-23 mois. Ce résultat contredit celui rapporté par Boularab qui a noté une diminution du risque relatif en avançant dans l'âge et les risques les plus élevés ont été enregistrés chez les enfants de moins de 11 mois (RR varie de 2,73 à 5,07) [20].

Cinquante-un virgule soixante-deux pour cent des cas de pneumonie sévère avaient moins de 11 mois, alors que ceux ayant 2 ans et plus ne représentaient que 21,22 % des cas. Ces résultats riment avec ceux rapportés par Boularab [20] qui a montré que l'âge est un facteur de risque pour les moins de 23 mois avec des RR variant de 1,64 à 1,9.

L'augmentation du nombre de consultations respiratoires durant la période Automne-Hiver, peut-être liée aux variations de la température. La baisse de la température favorise la propagation des germes responsables des infections respiratoires et d'autre part elle contribue au développement des moisissures et des acariens surtout dans les habitations qui sont mal aérées et qui souffrent d'un manque d'ensoleillement. Ces microorganismes libèrent des pneumallergènes très puissants (Spores, mycotoxines, composés organiques volatils et déjections), qui peuvent participer à la genèse de l'asthme chez les non asthmatiques et au développement des crises d'asthme chez les personnes asthmatiques [26]. La fermeture des fenêtres en hiver pour faire augmenter la température à l'intérieur des habitations induit une diminution de la ventilation des locaux et une accumulation des polluants, en plus dans les périodes froides l'augmentation des activités ménagères notamment de cuisine peut encore conduire à l'augmentation de la concentration des polluants intérieurs [27]. A ces deux facteurs s'ajoute, l'augmentation de l'activité des huileries du mois de septembre au mois de mars qui s'accompagne de la génération des quantités non négligeables de polluants atmosphériques qui peuvent participer activement à la survenue des crises d'asthme et des autres affections broncho-pulmonaires.

L'augmentation des crises d'asthme pendant le printemps en comparaison avec la période estivale peut être liée à l'inhalation du pollen des végétaux car cette saison est caractérisée par la floraison et la pollinisation des plantes supérieures.

Dans la zone d'étude, les plus fortes concentrations du NO<sub>2</sub> relevées correspondent à des sites de proximité automobile du centre-ville. En effet, ces axes routiers sont caractérisés par un trafic quotidien important, qui est à l'origine d'une grande partie des émissions de ce traceur de la pollution de proximité automobile [28], [29]. Pour les sites de prélèvement installés près des quartiers industriels de Sidi Bouzekri, route d'Agourai, Sidi Saïd, El Bassatine et de la cimenterie de Lafarge, les teneurs en NO<sub>2</sub> mesurées sont inférieures à la valeur limite admissible (40 µg/m<sup>3</sup>). Ces résultats concordent avec ceux des enquêtes réalisées par le Ministère de l'Environnement marocain, qui ont montré que le trafic routier est responsable de 75 % des émissions de NO<sub>2</sub> et que celles du secteur industriel n'excèdent pas 25 % [30]. Le taux des précipitations au cours de la campagne hivernale a conduit, probablement, à la diminution des teneurs du NO<sub>2</sub> dans l'air, vu sa solubilité dans l'eau qui induit sa décomposition en acide nitreux et nitrique [28]. Les fortes températures enregistrées durant la campagne de mesure estivale catalysent les réactions de formation de l'O<sub>3</sub> à partir du NO<sub>2</sub> [28]. En hiver, la dispersion du NO<sub>2</sub> est localisée près des sources émettrices due aux vents multidirectionnels, et ou à une couche d'inversion de température à quelques centaines de kilomètres du sol [20]. Lors de la campagne estivale, la dispersion de NO<sub>2</sub> est caractérisée par une forme en plume étalée vers le sud-est de la ville et influencée durant cette période d'un vent dominant d'intensité modérée provenant du nord-ouest, ce qui assure une dispersion maximale de ce traceur [20].

Les plus forts taux d'incidence de consultations pour affections respiratoires aiguës ont été enregistrés au niveau de Béni M'Hamed, Sidi Amar, Aïn Choubik, Al Anouar, Jbabra et Riad Al Kostani. À Meknès, Boularab [20] a analysé le profil spatial des affections respiratoires aiguës à l'aide de la méthode de balayage spatial de Kulldorff. Cette technique a permis d'identifier huit



clusters à haut risque hautement significatif ( $p < 0,001$ ), répartis en trois zones. La première zone est située au Nord-ouest de la ville, et comprend 4 clusters centrés sur le secteur sanitaire de Ras Aghil, avec des risques relatifs évoluant au fil du temps de 2,3 en 2010 à 5,6 en 2012. La seconde est localisée au centre de la ville et comporte 3 clusters, dont deux sont centrés sur le secteur sanitaire d'Al Ismaïlia avec des risques relatifs d'environ 4,2 en 2013 et 4,7 en 2014; la troisième zone représente le secteur sanitaire d'Al Anouar qui a enregistré un risque relatif de 4,1 en 2012 [20].

Les centres de santé où les plus fortes incidences annuelles moyennes des consultations pour crise d'asthme ont été enregistrées sont: Riad Al Kostani, Al Anouar, Izdihar, El Bassatine, Ville Nouvelle et Bab Belkari. Boularab [20] a indiqué que les zones à haut risque pour la survenue des crises d'asthme sont situées au Nord et à l'Ouest de la ville de Meknès. La zone située à l'Ouest de la ville est composée de deux clusters autour du secteur sanitaire du Riad, avec des risques relatifs d'environ 4. La zone située au Nord de la ville est subdivisée en trois sous-régions. La première est formée de deux clusters qui sont centrés sur le secteur de la santé Ville Nouvelle, avec des risques relatifs de 7,7 et 9,6 respectivement, la deuxième sous-région est composée d'un cluster centré sur le secteur de la santé Borj Moulay Omar, avec un risque relatif de 6,4; quant à la dernière sous-région, elle comprend un cluster avec le risque relatif le plus faible d'environ 1,8 autour du secteur AL Anouar.

Pour la pneumonie sévère, les plus forts taux d'incidences ont été rapportés au niveau du Zahoua, Ras Aghil et Riad. Boularab [20] a révélé l'existence de 9 clusters à haut risque, répartis en trois zones. La première zone est formée de 5 clusters et située au Nord de la ville: deux clusters autour du secteur sanitaire ville nouvelle avec des RR variant entre 3,7 et 7,8, un cluster est centré sur le secteur sanitaire Ras Aghil avec un RR de 5,5 et un cluster autour du secteur sanitaire BMO avec un RR de 3,5. La deuxième zone est située au Sud-ouest de la ville et formée de trois clusters, dont deux sont centrés sur le secteur sanitaire Touargua avec des RR de 14,6 et 6,3 respectivement, et un cluster autour du secteur sanitaire Diour Salam avec des RR de 4,7 en 2011 et 9,5 en 2013. La dernière zone à haut risque située à l'Ouest de la ville et composée du secteur sanitaire quartier administratif avec un RR exceptionnel de 40,8 en 2012.

Les plus fortes incidences de la pneumonie étaient enregistrées à: Riad, Izdihar et Bab Rha. Boularab [20] a identifié 10 clusters spatiaux à haut risque, répartis en quatre zones. La première zone est localisée au Nord de la ville et formée de trois clusters: un cluster, avec un RR de 1,9, qui est centré sur le secteur sanitaire Al Anouar; un cluster autour du secteur sanitaire Izdihar avec un risque relatif de 2,3; et un cluster avec un RR de 3,2 est centré sur le secteur sanitaire El Bassatine. La deuxième zone à haut risque est située au Sud-ouest de la ville et comprend 3 clusters: deux clusters autour du secteur sanitaire Jbabra avec des RR de 2,6 et 3,1 respectivement; et un cluster centré sur le secteur sanitaire de Touargua avec un risque relatif de 2. La troisième zone est composée de 2 clusters, l'un est centré sur le secteur sanitaire Bab Rha avec un RR de 3,8 et l'autre est autour du secteur sanitaire Riad avec un RR de 4. La quatrième zone comporte 2 clusters centrés sur le secteur sanitaire Zahoua avec des RR de 3,1 et 3,7 respectivement.

Le lien entre l'exposition au  $\text{NO}_2$  et l'incidence des pathologies respiratoires a fait l'objet de plusieurs études épidémiologiques qui ont prouvé l'existence de corrélations très positives [31], [32], [33], [34].

A Meknès, les risques relativement élevés de la survenue des pathologies respiratoires observés au niveau des secteurs sanitaires de l'ancienne Médina (Bni M'Hamed, Sidi Amer, Riad Al Kostani, Bab Belkari et Riad) sont dus, probablement, à la fois aux émissions des moyens du transport et au type d'habitat. Ce secteur est caractérisé par un trafic dense, vu qu'il renferme la place Zine El Abidine qui est le point de convergence du réseau de bus et des transports en commun de la ville. L'avenue Mohammed VI, un lieu névralgique de la ville (15000 véhicules /jour), la gare routière et la rue Dar Smane qui a enregistré les plus fortes teneurs de  $\text{NO}_2$ . L'ensoleillement insuffisant, la mauvaise aération et la ventilation quasi-inexistante des habitations induisent l'augmentation du taux d'humidité relative intérieure et crée, par conséquent, des conditions favorables pour le développement et la prolifération d'un certain nombre de microorganismes dont les acariens et les moisissures [35], [36] qui produisent des pneumallergènes très puissants qui sont fortement impliqués dans l'exacerbation des pathologies respiratoires existant et le développement des affections respiratoires chez les personnes indemnes. L'accumulation des polluants issus des travaux ménagers (Pollution interne) dans les habitats mal aérés et qui souffre de problèmes de ventilation est, selon l'OMS, responsable du décès de 1,6 million de personnes chaque année soit un décès toutes les 20 secondes [37].

La conjugaison des effets des émissions des quartiers industriels, des moyens de transport et de l'agriculture urbaine plaide en faveur de l'augmentation des taux d'incidence observée au niveau des secteurs sanitaires d'Al Anouar, El Bassatine, Oum Rabiae et Izdihar. En effet, ces centres de santé sont localisés dans un carrefour près du quartier industriel Al Bassatine, de la cimenterie de Lafarge et de la route 718 emprunté par pas moins de 30000 véhicules par jour. A cela s'ajoutent les émissions du secteur agricole de la vallée d'Ouislane.

Jbabra constitue l'une des artères principales les plus fréquentées de la ville de Meknès reliant l'ancienne Médina aux quartiers du Sud de la ville: Sidi Bouzekri, Al Wahda et Marjane. Cette localisation contribue, probablement, d'une manière significative à

l'augmentation des risques de la survenue des pathologies respiratoires suite à l'exposition au traceur de la pollution de proximité automobile.

Les faibles incidences des affections respiratoires signalées au niveau du centre de santé la Ville Nouvelle ne reflètent pas la réalité sur le terrain. En effet, les campagnes de mesure menées au cours de cette étude (NO<sub>2</sub>) ainsi que celles réalisées par Ait Bouh (SO<sub>2</sub>, particules fines et grossières) ont montré l'existence de teneurs relativement élevées par rapport aux autres sites prospectés de la ville. Ceci est dû d'une part à la densité importante du trafic routier, surtout au niveau de l'avenue des FAR, Bir Anzarane, Rond-point de McDonald's et d'El Manouni, et d'autre part des stations-service qui larguent d'une manière permanente des quantités non négligeables de composés organiques volatils. Ceci peut s'expliquer par: le niveau social des habitants, qui pousse un grand nombre d'entre eux à consulter des cabinets privés. Pour connaître l'incidence réelle des pathologies respiratoires, il importe d'inclure les données du secteur privé dans ce genre d'études, étant donné que ces maladies ne sont pas à déclaration obligatoire. De plus, un certain nombre d'études ont prouvé l'existence d'une corrélation très positive entre le niveau social et l'incidence de certaines maladies dues à l'exposition à la pollution atmosphérique [38], [39]. Une étude canadienne montre que, si le risque d'être affecté par la pollution atmosphérique des sujets à haut revenu et haut niveau d'exposition à la pollution atmosphérique est de 33 % supérieur à celui de la population générale du Canada, il est de 162 % supérieur pour les sujets à bas revenus. Même lorsque les sujets issus des milieux défavorisés sont soumis à de faibles teneurs de polluants, leur risque relatif d'être affecté par la pollution atmosphérique reste plus élevé que les sujets de milieux plus aisés exposés à des fortes teneurs de polluants atmosphériques (82 % contre 33 %) [40]. A Rome, Forastiere *et al* [41]. ont montré que les populations au niveau socio-économique élevé, résidentes du centre-ville, sont à la fois plus exposées à la pollution atmosphérique et moins atteintes des pathologies respiratoires que des populations de la périphérie, moins exposées mais aussi moins favorisées sur le plan socio-économique.

Les faibles taux d'incidence de la survenue des pathologies respiratoires associées aux faibles teneurs du polluant prospecté dans les trois centres de santé de la commune d'Ouisslane (Ouisslane, Saada et Al Boustane) peut-être dus aux consultations des cabinets privés, les visites aux urgences et l'achat des médicaments à vocation respiratoire directement des pharmacies sans avoir recours aux structures sanitaires compétentes.

Pour les centres de santé de Sidi Bouzekri et d'El Wahda malgré leur localisation près du quartier industriel de Sidi Bouzekri, ils présentent de faibles taux d'incidences des affections respiratoires. Ceci est peut-être attribué, au fait que la plupart des entreprises représentent des magasins de stockage et non des unités de production. A ceci s'ajoute, le transfert des sièges d'une grande partie des entreprises vers les nouveaux quartiers industriels de Sidi Slimane Moule Al Kifane et Mejjat.

## 5 CONCLUSION

L'évaluation de l'impact sanitaire a été basée sur l'étude du profil épidémiologique et spatial des indicateurs sanitaires, associés à l'exposition aux traceurs de la pollution atmosphérique.

Les femmes ont été plus affectées que les hommes et les résidents dans des zones de fort trafic routier ont été plus touchés par les affections respiratoires que ceux avoisinant les zones d'activités industrielles.

Les plus fortes incidences des pathologies étudiées ont été notées au niveau des quartiers populaires de la zone d'étude qui sont moyennement exposés par rapport aux secteurs sanitaires du centre-ville, qui sont fortement exposés au polluant prospecté.

Pour les quartiers de l'ancienne Médina (Bni M'Hamed, Sidi Amer, Riad Al Kostani, Bab Rha et Riad), les incidences des consultations pour pathologies respiratoires sont relativement élevées, malgré l'éloignement de ces derniers de toutes sources de pollution atmosphérique d'origine industrielle. Ce qui laisse supposer que les émissions des moyens de transport et le type d'habitat sont fortement incriminés.

L'approche développée pourrait servir d'outils d'aide pour la prise de décision pour les autorités compétentes en la matière et l'adapter pour évaluer les impacts sanitaires et environnementaux liés à l'exposition à d'autres types de polluants (pesticides, traceurs générés par les unités industrielles, etc.).

## CONFLITS D'INTÉRÊTS

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts en relation avec cet article.

## CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

**Ibrahim El Ghazi**: recherche bibliographique, collecte et traitement des données et rédaction du manuscrit. **Berni Imane et Aziza Menouni**: traitement statistique et relecture du manuscrit. **Mohammed Amane**: Encadrement scientifique. **Samir EL Jaafari** et **Marie-Paule Kestemont**: élaboration du protocole de recherche, supervision de l'étude et validation du manuscrit.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs reconnaissent le soutien de l'Académie de recherche et d'enseignement supérieur (ARES) à travers le financement des divers stages à l'Université Catholique de Louvain la neuve, Belgique. Merci également aux reviewers anonymes pour leurs précieux commentaires sur cet article, ce qui nous permettra d'améliorer la qualité scientifique de cette recherche.

## REFERENCES

- [1] OMS. (2018). Neuf personnes sur 10 respirent un air pollué dans le monde, communiqué de presse de l'Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
- [2] D.W. Dockery, C.A. Pope, X. Xu, J.D. Spengler, J.H. Ware, M.E. Fay, B.G. Ferris, F.E. Speizer, "An association between air pollution and mortality in six U.S. cities", *N. Engl. J. Med*, vol. 329, pp. 1753–1759, 1993.
- [3] M. J. Lipsett, B.D. Ostro, P. Reynolds, D. Goldberg, A. Hertz, M. Jerrett, L. Bernstein, "Long-Term Exposure to Air Pollution and Cardiorespiratory Disease in the California Teachers Study Cohort", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol.184, no. 7, pp. 828–835, 2011.
- [4] A.S. Shah, J.P. Langrish, H. Nair, D.A. McAllister, A.L. Hunter, K. Donaldson, D.E. Newby, N.L. Mills, "Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis", *Lancet*, vol. 382, pp. 1039-1048, 2013.
- [5] G.D. Thurston, J. Ahn, K.R. Cromar, Y. Shao, H.R. Reynolds, M. Jerrett, C.C. Lim, R. Shanley, Y. Park, R.B. Hayes, "Ambient Particulate Matter Air Pollution Exposure and Mortality in the NIH-AARP Diet and Health Cohort", *Environ Health Perspect*, vol.124, no. 4, pp. 484-90, 2016.
- [6] C.C. Liu, S.S. Tsai, H.F. Chiu, T.N. Wu, C.C. Chen, C. Y Yang, "Ambient exposure to criteria air pollutants and risk of death from bladder cancer in Taiwan", *Inhal Toxicol*, vol. 21, no.1, pp. 48–54, 2009.
- [7] M.C. Turner, M. Jerrett, C.A. Pope, D. Krewski, S.M. Gapstur, W.R. Diver, B.S. Beckerman, J.D. Marshall, J. Su, D.L. Crouse, R.T. Burnett, "Long-Term Ozone Exposure and Mortality in a Large Prospective Study", *Am J Respir Crit Care Med*, vol.193, no. 10, pp. 1134-1142, 2016.
- [8] O. S. Alamoudi, "Prevalence of respiratory diseases in hospitalized patients in Saudi Arabia: A 5 years study 1996-2000", *Annals of Thoracic Medicine*, vol. 1, no. 2, pp.76-80, 2006.
- [9] T. Sultana, A. Afzal, S. Sultana, K. Al-Ghanim, T. Shahid, Z. Jabeen, N. Turab, Z. Ahmed, S. Mahboob, "Epidemiological estimates of Respiratory diseases in the hospital population, Faisalabad, Pakistan", *Braz. Arch. Biol. Technol*, vol.60, 2017.
- [10] M. Bounakhla, A. El Hamdaoui, K. Embarch, M. Ibn Majah, "Fluorescence X pour l'évaluation de la pollution atmosphérique des villes de Safi et EL Youssoufia", *Rencontre Fronco-Marocaine de Physique Nucléaire, EL Jadida*, pp. 131-137, 1999.
- [11] A. El Abidi, L. Idrissi, H. Taleb, A. Azizi, O. Mameli, P. Melis, "The impact of lead pollution on the environment of Rabat-Salé (Morocco)", *Ann Chim*, vol.90, no.111-112, pp. 695-702, 2000.
- [12] M. Zaghaid, Y. Noack, M. Bounakhla, F. Benyaich, "Pollution atmosphérique particulaire dans la ville de Kenitra (Maroc)", *Pollution atmosphérique: Climat, Santé, Société*, vol.203, pp. 313-324, 2009.
- [13] A. Zour. (2009). Application des Techniques d'échantillonnage passif pour l'évaluation de l'impact des fumées de la décharge municipale de Tanger sur la qualité de l'air. Thèse de doctorat, Université Abdelmalek Essaadi, Faculté des Sciences et Techniques Tanger, 182 p.
- [14] H. Ait Bouh, F. Benyaich, M. Bounakhla, Y. Noack, M. Tahri, F. Zahry, "Variations Saisonnières des particules atmosphériques et ses composants chimiques dans la Ville de Meknès- Maroc", *J. Mater. Environ. Sci*, vol. 4, no.1, pp.: 49-62, 2013.
- [15] F. Monna, L. Bouchaou, C. Rambeau, R. Losno, O. Bruguier, G. Dongarrà, S. Black, C. Château, "Lichens used as monitors of atmospheric pollution around Agadir (Southwestern Morocco) -A case study predating lead-free gasoline", *Water Air Soil Pollut*, vol.223, pp.1263–1274, 2012.
- [16] M. Tahri, M. Bounakhla, M. Zghaid, Y. Noack, F. Benyaich, A. Benchrif, "Evaluation of airborne particulate matter pollution in Kenitra City, Morocco", *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, vol. 8, no.1, pp. 38-47, 2013.
- [17] F. Z. Ouali Alami, A. Elabidi, L. Mouhir, M. Fekhaoui, A. Serghini, "Utilisation des lichens comme bio-indicateurs de la pollution atmosphérique par le plomb, cadmium et zinc de la région de Rabat-Sale-Zemmour-Zaër (Maroc)", *Afrique SCIENCE*, vol.10, no.3, pp. 89 – 106, 2014.

- [18] G. El Rhzaoui, P.K. Divakar, A. Crespo, H. Tahiri, "Biomonitoring of air pollutants by using lichens (*Evernia prunastri*) in areas between Kenitra and Mohammedia cities in Morocco", *LAZAROA*, vol.36, pp. 21-30, 2015.
- [19] Inchaouh, M & Tahir, M. (2017). Air pollution due to road transportation in Morocco: evolution and impacts. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 4 (6): 7547-7552.
- [20] I. Boularab. (2018). Pollution atmosphérique due au dioxyde d'azote: mise au point d'un indicateur composite pour la ville de Meknès. Thèse de Doctorat en Biologie, Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences de Meknès, 224 p.
- [21] Casa-Airpol. (2000). Etude de la pollution atmosphérique et de son impact sur la santé des populations à Casablanca, Campagnes 1998-1999. Ministère de l'aménagement du territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement et Ministère de la Santé.
- [22] Mohammedia-Airpol. (2002). Étude de la pollution atmosphérique et de son impact sur la santé des enfants asthmatiques de Mohammedia, campagnes 2001-2002. Ministère de l'aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement et Ministère de la Santé.
- [23] L. Croitoru, M. Sarraf, (2017). Le coût de la dégradation de l'environnement au Maroc, World Bank Group Report N°105633-MA.
- [24] M. Abdouh, A. El Atrouz, A. Mechkouri. (2004). Profil environnemental de Meknès, Agenda 21 locaux pour la promotion de l'environnement et du développement durable en milieu urbain. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. Rabat-Maroc.
- [25] NBN EN 16339. Air ambiant - Méthode pour la détermination de la concentration du dioxyde d'azote au moyen d'échantillonneurs par diffusion.
- [26] M, Puddu, K. Bayingana, J. Tafforeau. (2003). L'Asthme et la Pollution de l'air: Etat des connaissances et données disponibles pour le développement d'une politique de santé en Belgique. Institut Scientifique de la Santé Publique, IPH/EPI Reports Nr. 2003 - 012, N° de dépôt: D/2003/2505/23.
- [27] A. Just, L. Nikasinovic, Y. Laoudi, A. Grimfeld, "Pollution de l'air et asthme de l'enfant", *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique*, vol. 47, pp. 207-213, 2007.
- [28] M. Meybeck, J.P. Della Massa, V. Simon, E. Grasset, L. Torres, "Étude de la distribution atmosphérique de composés organiques volatils aromatiques: benzène, toluène, xylènes (BTX) et du dioxyde d'azote sur l'agglomération toulousaine", *Pollution atmosphérique*, vol.168, pp. 569-582, 2000.
- [29] D. Laurinavičienė, A. Dėdelė, "Measurement of nitrogen dioxide concentration in cold and warm seasons using a passive sampling method", *Biologija*, vol. 59, no. 4, 327-333, 2013.
- [30] MRE. (2001). Monographie Régionale de l'Environnement, Région Meknès Tafilalet, 64p.
- [31] W.J. Gauderman, E. Avol, F. Lurmann, N. Kuenzli, F. Gilliland, J. Peters, R. McConnell, "Childhood asthma and exposure to traffic and nitrogen dioxide", *Epidemiology*, vol.16, pp. 737-743, 2005.
- [32] M. Brauer, G. Hoek, H.A Smit, J.C. de Jongste, J. Gerritsen, D.S. Postma, M. Kerkhof, B. Brunekreef, "Air pollution and development of asthma, allergy and infections in a birth cohort", *Eur. Respir. J.*, vol. 29, pp. 879-88, 2007.
- [33] Y. Meng, M. Wilhelm, R.P. Rull, P. English, B. Ritz, "Traffic and outdoor air pollution levels near residences and poorly controlled asthma in adults", *Ann. Allergy Asthma Immunol*, vol. 98, pp. 455-63, 2007.
- [34] R.J. Delfino, J. Chang, J. Wu, C. Ren, T. Tjoa, B. Nickerson, D. Cooper, D.L. Gillen, "Repeated hospital encounters for asthma in children and exposure to traffic-related air pollution near the home", *Ann. Allergy Asthma Immunol*, vol. 102, pp. 138-44, 2009.
- [35] P. Harrison, "Creature comforts-living with mites and moulds", *Clin. Exp. Allergy*, vol. 29, no.2, pp. 148-149, 1999.
- [36] T. Hirsch, M. Hering, K. Burkner, D. Hirsch, W. Leupold, M. Kerkmann, "House-dust-mite allergen concentrations (Der f 1) and mold spores in apartment bedrooms before and after installation of insulated windows and central heating systems", *Allergy*, vol. 55, no. 1, 2000.
- [37] OMS. (2005). La pollution de l'air à l'intérieur des habitations et la santé. Aide-mémoire N°292.
- [38] B.W. Wheeler, Y. Ben-Shlomo, "Environmental equity, air quality, socioeconomic status, and respiratory health: a linkage analysis of routine data from the Health Survey for England", *J Epidemiol Community Health*, vol. 59, pp. 948-954, 2005.
- [39] S. Cakmak, R. Dales, S. Judek, "Respiratory health effects of air pollution gases: modification by education and income", *Arch Environ Occup Health*, vol. 61, pp. 5-10, 2006.
- [40] Depoorter, S., Nikalus, D., & Rafenberg, C. (2012). Rapport de la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement Santé et qualité de l'air extérieur. Commissariat général au développement durable, 102 p.
- [41] F. Forastiere, M. Stafoggia, C. Tasco, S. Picciotto, N. Agabiti, G. Cesaroni, C. Perucci, "Socioeconomic status, particulate air pollution, and daily mortality: differential exposure or differential susceptibility", *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 50, no. 3, pp. 208-216, 2007.