Pollution atmosphérique
ISSN : 2268-3798
Publisher : Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique

239 | 2019
Varia

Temps, pollution aux particules fines (PM_{10}) et morbidité respiratoire à Sfax (Tunisie)

Weather, Air pollution (PM_{10}) and respiratory diseases in Sfax (Tunisia)

Hamdi Euchi and Salem Dahech

https://www.peren-revues.fr/pollutionatmospherique/6809

DOI : 10.4267/pollution-atmospherique.6809

Electronic reference
Hamdi Euchi and Salem Dahech, « Temps, pollution aux particules fines (PM_{10}) et morbidité respiratoire à Sfax (Tunisie) », *Pollution atmosphérique* [Online], 239 | 2019, Online since 10 avril 2019, connection on 26 février 2026. URL : https://www.peren-revues.fr/pollutionatmospherique/6809

Copyright
CC-BY

Temps, pollution aux particules fines (PM_{10}) et morbidité respiratoire à Sfax (Tunisie)

Weather, Air pollution (PM_{10}) and respiratory diseases in Sfax (Tunisia)

Hamdi Euchi and Salem Dahech

OUTLINE

Introduction
1. Méthodes et données
2. Prétraitements statistiques des données de bases : admissions hospitalières et pollution aux PM_{10}
   2.1 Prétraitements statistiques des admissions hospitalières pour maladies respiratoires durant les années 2007, 2009 et 2010
   2.2 Prétraitements de données de PM_{10}
   2.3 Variation des moyennes journalières d'admissions pour maladies respiratoires selon plusieurs temps de latences
3. Résultats des croisements entre les pics de PM_{10} et les admissions pour maladies respiratoires
4. Résultats des croisements statistiques entre les pics de PM_{10} et les sur-admissions pour maladies respiratoires
5. Type de temps responsable des dépassements de la valeur guide tunisienne fixée à 120 µg/m^3 en 2015
   5.1. Dépassements journaliers de PM_{10} et types de temps associés
   5. 2 Étude de cas des épisodes de PM_{10} : types de temps et admissions associées
      5.2.1 Épisode de PM_{10} du 18/05/2009 au 21/05/2009 : type de temps et admissions pour maladies respiratoires associées.
      5.3.2 Pics de PM_{10} du 16 au 19 février 2010
6. Répartition spatiale des parts relatives des admissions pour causes respiratoires
7. Discussion
Conclusion

TEXT

Introduction

1 L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a estimé, en 2016, à 4,2 millions le nombre de décès prématurés à cause de la pollution de l'air (https://www.who.int/fr). La majeure partie des décès ont eu

lieu dans les pays en développement et en particulier en Asie du Sud-Est. Les particules atmosphériques (PM_{10}, Particulate Matter en anglais) de diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns (µm) sont l'un des polluants les plus dangereux pour l'Homme et son environnement (Siwek et Osowski, 2012 ; OMS, 2015 ; Michelot, 2014 ; Ionescu, 2017). Leurs pénétrations dans les voies respiratoires déclenchent et/ou aggravent plusieurs pathologies. Elles sont, en particulier, considérées comme les facteurs les plus importants déclenchant l'asthme aigu, le pneumothorax, la bronchite aigue, la dyspnée, l'angine de poitrine, la pneumonie, etc. (Manners et Schwartz, 2014 ; Gehring (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5907299/#bb0100)*et al.* (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5907299/#bb0100), 2015 (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5907299/#bb0100) ; Roussel, 2013 ; Mazenq et al, 2016). Ces maladies sont liées à l'exposition à court terme aux particules en suspension, (PM_{10}). De plus, des maladies respiratoires chroniques, aux effets plus dangereux, comme la Broncho Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO) et le cancer du poumon sont communément parmi les conséquences de l'exposition à long terme aux particules en suspension PM_{10} (Ségala et Duchesne, 2017 ; Pascal et de Crouy Chanel, 2016 ; Host et Duchesne, 2017). Une forte recrudescence de ces deux maladies chroniques est remarquée dans le monde ; elle est d'autant plus accentuée dans les pays où les niveaux de pollution de l'air aux PM_{10} sont constamment élevés (Koné, 2008 ; https://www.who.int/fr). Dans ce contexte, on note que la tumeur du poumon est la première cause de décès par cancer, en Europe (Yang *et al.*, 2012). La gravité de toutes ces pathologies respiratoires, qu'elles soient chroniques ou aiguës, varie considérablement dans le temps et dans l'espace suivant la durée de l'exposition et l'intensité des concentrations en PM_{10} dans l'atmosphère.

2 La relation pollution atmosphérique/morbidité respiratoire est très difficile à cerner pour plusieurs raisons : d'abord, les réseaux de surveillance de la qualité de l'air ne sont pas assez denses pour pouvoir qualifier et quantifier les polluants atmosphériques respirés dans différents quartiers d'une agglomération. Ensuite, plusieurs facteurs intrinsèques (hérédité, tabagisme, alcoolisme…) et extrinsèques (virus, contagion…) interfèrent avec la pollution atmosphérique. Puis, les déplacements de la population durant la journée ne

permettent pas de déterminer, avec précision, l'exposition à une source de pollution bien déterminée. Il reste difficile, voire impossible de modéliser, avec précision l'exposome[1] complet d'une personne car, d'une part, il est difficile de cerner les déplacements d'un être humain durant sa vie et, d'autre part, les concentrations des polluants changent dans le temps et dans l'espace avec parfois l'apparition de nouvelles substances (Vrijheid *et al.*, 2014).

3 Malgré ces difficultés, les conséquences sanitaires du fait de l'exposition à la pollution atmosphérique en général, et aux PM_{10}, en particulier, sont désormais mises en évidences par des études dans des domaines de recherches assez variés en épidémiologie, en toxicologie et en bioclimatologie (Gargouri *et al.*, 2006 ; Lin *et al.*, 2013 ; Manner *et al.*, 2014 ; Rich *et al.*,2015). Conséquemment, des programmes de recherches internationaux se sont intéressés à cette problématique en essayant de quantifier et qualifier l'impact de la pollution atmosphérique sur la morbidité et la mortalité pour des motifs médicaux variés (ERPURS, PASAS 9, APHEKOM, APHEEIS, APHEA-2, cohortes américaines, etc.). Les résultats de ces programmes sont unanimes sur les effets sanitaires néfastes de l'exposition aux pics de pollution atmosphérique. À titre illustratif, les principaux résultats du programme d'APHEKOM, mené dans 9 villes françaises montrent qu'une réduction de 5 $\mu g/m^3$ de la moyenne annuelle de PM_{10} pourrait épargner au total 230 décès par an. De plus, une légère baisse des PM_{10} pourrait éviter plus de 330 hospitalisations cardiaques et 630 hospitalisations respiratoires (Medina et Pascal, 2012). Ces programmes sont, pour la plupart, menés dans des zones climatiques tempérées humides et sub-humides où les particules fines sont pour la plupart d'origine anthropique (industrielle et/ou trafic routier).

4 Néanmoins, les villes de la rive sud de la Méditerranée dont le climat est majoritairement semi-aride à aride, comme c'est le cas de la ville de Sfax au centre-est de la Tunisie, sont touchées par des PM_{10} provenant de deux principales sources d'émissions ; naturelle lors des situations de litho-météores (vents de poussières) et anthropique, provenant de source fixes (industries) et mobiles (trafic routier). L'objectif de cet article est d'étudier les conséquences sanitaires des pics de PM_{10}, à Sfax, et précisément leurs effets à court terme sur les admissions hospitalières pour maladies respiratoires.

1. Méthodes et données

5 Les données utilisées dans cette investigation sont comme suit :

6 Premièrement, des données horaires de PM_{10} durant les années 2007, 2009 et 2010 sont fournies par l'Agence Nationale de la Protection de l'Environnement (ANPE) (la station de la qualité de l'air du centre-ville de Sfax, localisée sur la figure 1). Les mesures sont réalisées par un compteur optique (Azri, 2000).

7 Les enregistrements horaires de PM_{10} pendant l'année 2008 ne sont pas retenus dans cette étude à cause du nombre important de données lacunaires (plus de 60 %). De surcroît, les lacunes sont devenues plus nombreuses après janvier 2011, date de la dite « révolution du jasmin ». Après prétraitements[2], les dépassements journaliers de la valeur guide tunisienne fixée à 120 µg/m^3/jour, par le ministère de l'environnement en Tunisie (http://www.environnement.gov.tn, www.anpe.nat.tn/Fr/FileUpload_F137, Observatoire Tunisien de l'Environnement et du Développement Durable, 2014), sont déterminés. Par ailleurs, la norme journalière mondiale de l'OMS, fixée à 50 µg/m^3, n'a pas été utilisée dans cette étude car 98 % des moyennes journalières de PM_{10} dépassent ce seuil. En effet, dans le contexte climatique tunisien, semi-aride, les poussières d'origine naturelle sont abondantes et faciles à soulever par les vents et le trafic routier (Euchi *et al.*, 2018). De surcroit, en particulier au printemps, les poussières sahariennes sont soulevées et transportées sur de longues distances, puis traversent la Méditerranée en passant par le golfe de Gabès (Michelot *et al.*, 2015).

8 Deuxièmement, les mesures météorologiques horaires de la station de Sfax El Maou, réalisées par l'Institut National de la Météorologie (INM), disponibles sur le site ; https://www.wunderground.com/weather/tn/sfax, direction et vitesse de vent, humidité, pression atmosphérique, état du ciel), sont utilisées pour déterminer les types de temps responsables des dépassements journaliers de PM_{10} au cours des années 2007, 2009 et 2010. Les données météorologiques recueillies sont de bonne qualité et contiennent très rarement des lacunes (moins de 0,3 %). Durant les années retenues, nous n'avons pas enregistré de paroxysmes thermiques aussi bien en hiver qu'en

été, donc le facteur climatique ne peut pas être impliqué directement dans l'augmentation de la morbidité respiratoire.

9 Troisièmement, des données de morbidités correspondant principalement aux nombres journaliers des patients admis pour maladies respiratoires durant la période précitée sont fournies par le service de pneumologie du CHU Hédi Chaker[3] de Sfax. Ce dernier accueille, en moyenne, 720 admis par an. Il est à noter que le secteur du soin public en Tunisie polarise 60 % de la population.

10 Les adresses du domicile des patients admis et leur âge sont fournis. Les jours durant lesquels les admissions sont supérieures ou égales à 3 sont considérés selon les médecins du service de pneumologie du CHU Hédi Chaker de Sfax, comme situation de sur-admission pour maladies respiratoires. Il est très important de mentionner que seuls les admis habitant l'agglomération de Sfax (un rayon d'environ 11 km par rapport au centre-ville où est implantée la station de l'ANPE) ont été retenus dans cette étude. Il nous a paru incohérent d'intégrer les admis venant de zones lointaines.

11 Les données de pollution (PM_{10}) sont croisées avec celles de la morbidité respiratoire pour déterminer une éventuelle relation entre ces deux paramètres. Nous avons observé les admissions survenues durant les quatre jours succédant à un dépassement de la valeur guide tunisienne en 2015 pour les PM_{10}. Cette période de latence, de 4 jours, a été choisie en se référant à la bibliographie (Host *et al.*, 2008 ; Delfino, *et al.*, 2009 ; Simona et Chaprin, 2010) et vérifiée après des calculs, suivant plusieurs scénarios, à partir de notre base de données.

12 Éventuellement, l'origine géographique des admis (adresse) a été examinée pour étudier la répartition spatiale des patients en fonction de la proximité des sources de nuisances environnementales. Nous notons que les âges des patients admis pour maladies respiratoires varient entre 12 ans et 87 ans. Néanmoins, les motifs médicaux précis d'admissions respiratoires non fournis systématiquement pour toutes les admissions, ne seront pas traités dans cet article.

Figure 1 : Localisation de l'agglomération de Sfax et des stations de mesures météorologiques et de la qualité de l'air (Groupe Chimique Tunisien) et centre-ville, et le CHU HédiChaker (fond : image Google Earth prise en 2018).
Location of the Sfax agglomeration and meteorological and air quality measurement stations (GCT) and city center, and CHU HédiChaker. Source, Google Earth image in 2018.

2. Prétraitements statistiques des données de bases : admissions hospitalières et pollution aux PM_{10}

2.1 Prétraitements statistiques des admissions hospitalières pour maladies respiratoires durant les années 2007, 2009 et 2010

13 Durant la période étudiée (2007, 2009 et 2010) le nombre total des patients admis pour maladies respiratoires a atteint 813. Nous ajou-

tons que la série de données de ces admissions journalières est globalement cohérente (faible pourcentage des jours sans données : 1 %). Avant d'entamer les traitements, il nous a paru élémentaire de vérifier la variation temporelle, à diverses échelles, des jours sans admissions : il ne s'agit pas ici de données lacunaires. À l'échelle interannuelle, 2010 compte 32 % des jours sans admissions (figure 2A). Cependant, les années 2009 et 2007 présentent le même pourcentage des jours sans admissions, 24 % des observations. Dans le souci d'avoir une idée plus détaillée sur la cohérence temporelle des données d'admissions respiratoires, les cycles mensuels et hebdomadaires de pourcentages des jours sans admissions sont dressés. En effet, à l'échelle mensuelle, il ressort que la fréquence des jours sans admissions est négligeable notamment pendant l'hiver et en particulier au cours du mois de janvier (3 %). En effet, les maladies respiratoires sont plus fréquentes en hiver (Jarraya, 2009). A contrario, plus de 25 % des jours sans admissions sont constatés en été (figure 2B). À l'échelle hebdomadaire, le pourcentage le plus élevé des jours sans admissions est remarqué pendant les dimanches, soit un pourcentage d'environ 40 % de l'effectif total (figure 2C).

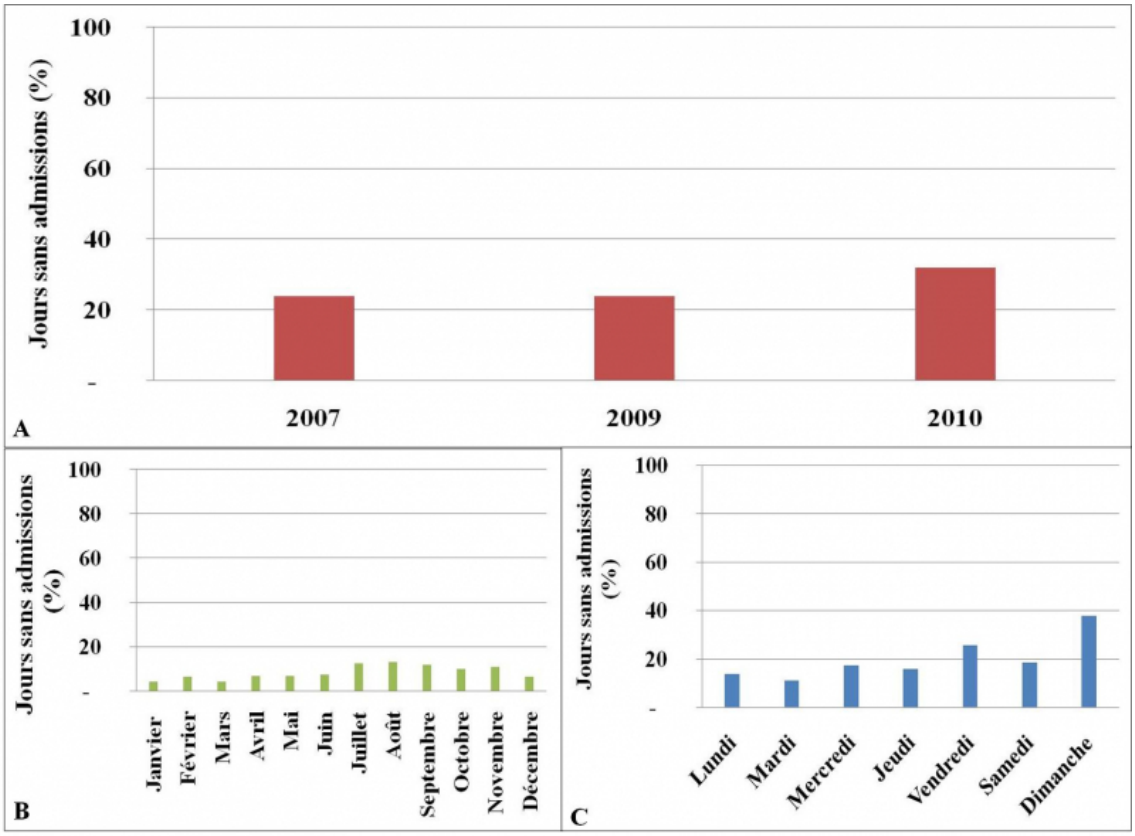

Figure 2 : Variation temporelle des jours sans admissions durant les années 2007, 2009 et 2010 aux échelles temporelles emboitées : (A) annuelle, (B) mensuelle, (C) hebdomadaire (données CHU de Hédi Chaker).
Temporal variation of days without admissions during 2007, 2009 and 2010 on (A) annual, (B) monthly and (C) Weekly time scales (data from Hédi Chaker hospital).

2.2 Prétraitements de données de PM_{10}

14 Les prétraitements des données horaires de particules (PM_{10}) pendant les années 2007, 2009 et 2010 montrent un pourcentage de lacunes d'environ 27 % (figure 3). En effet, à l'échelle annuelle, le pourcentage de lacunes le plus faible est remarqué durant 2007, soit 10 %, tandis que leur maximum (40 %) est atteint en 2010 (figure 3A). Les lacunes sont réparties d'une manière presque équivalente à l'échelle mensuelle et hebdomadaire (figure 3B et C). Les jours enregistrant plus de 18/24 de données horaires de PM_{10} sont retenus dans cette étude pour obtenir 817/1094 jours soit 77 % des jours. Nous signalons que la quasi-totalité des concentrations journalières de PM_{10}, durant les années 2007, 2009 et 2010, sont au-dessus de la valeur recommandée par l'OMS (98 %>50 µg/m^3). Cependant, 10 % des moyennes journalières de PM_{10} dépassent la valeur guide tunisienne (120 µg/m^3). Durant la période sélectionnée, nous avons relevé 84 jours marqués par des dépassements de cette valeur guide, potentiellement dangereux, durant lesquels, les citadins de la ville de Sfax pourraient être affectés par des maladies respiratoires (asthme, bronchite, pneumothorax, etc). À ces jours pollués nous avons ajouté une période de latence de 4 jours/dépassement quotidien pour obtenir 314 [4] jours potentiellement morbides. Durant ces derniers 679 patients sont admis, soit 2,17 patients/jour. Rappelons que la moyenne journalière des admis durant les trois années étudiées, toutes situations confondues, s'élève à 0,74 patients admis/jour. A priori, les épisodes pollués (> à 120 µg/m^3) engendrent une hausse de 293 % au niveau des admissions hospitalières (hôpital universitaire Hédi Chaker uniquement) pour cause respiratoire, à l'échelle de l'agglomération de Sfax.

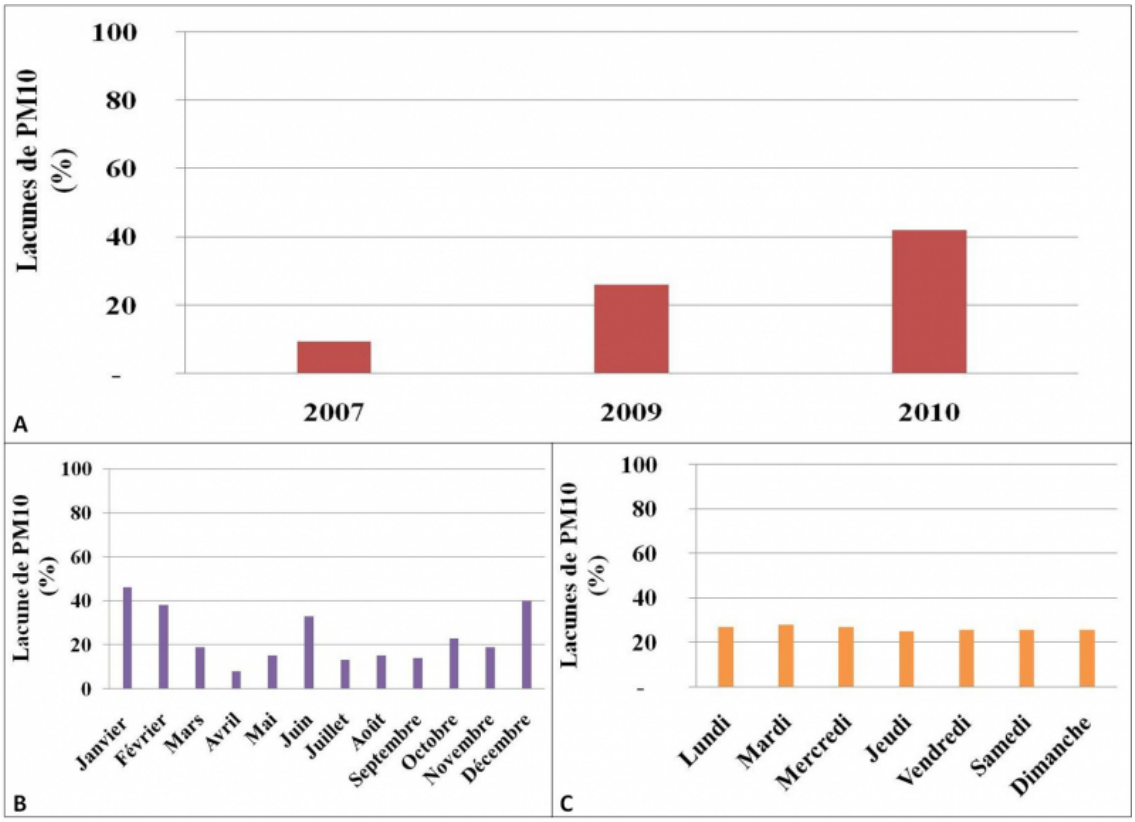

Figure 3 : Variation temporelle des lacunes horaires de PM_{10} durant les années 2007, 2009 et 2010 : (A) interannuelle, (B) mensuelle, (C) hebdomadaire (données ANPE ; station du Sfax-centre, 2016)

Temporal variation of PM_{10} missing data during 2007, 2009 and 2010: (A) interannual, (B) monthly and (C) weekly time scales (data from ANPE).

2.3 Variation des moyennes journalières d'admissions pour maladies respiratoires selon plusieurs temps de latences

15 Les moyennes journalières de patients admis sont examinées suivant plusieurs temps de latence J, j+1, j+2, j+3 et j+4…J+7 (figure 4). Il en ressort que les moyennes journalières des admissions hospitalières pour maladies respiratoires les plus élevées sont remarquées aux dates des pics de PM_{10}, (j), (figure 4). Elles sont de 2,6 patients admis pour maladies respiratoires par jour. Ce constat pourrait s'expliquer par la raison suivante : les citadins de Sfax sont probablement fragi-

lisés par des épisodes de PM_{10} qui précédent les dates des dépassements étudiés (figure 4). D'autres moyennes journalières élevées sont également remarquées deux jours après la date des pics de PM_{10} (j+2) soit une moyenne de 2,25 patients par jour (figure 4). Parallèlement, le maximum absolu journalier a atteint 8 patients admis trois jours après un dépassement de la valeur guide tunisienne. Tandis que la plus faible moyenne journalière des admissions pour maladies respiratoires est remarquée un jour après les dates de pics de PM_{10} (1,8 patient admis par jour). Rappelons que la moyenne journalière des admissions pour maladies respiratoires, quel que soit le type de temps, durant les années 2007, 2009 et 2010 s'élève à 0.74 patients. A contrario, nous avons remarqué une baisse des admissions pour maladies respiratoires (retour à la normale) à partir de J+5 et J+6. Les calculs des coefficients de variation aux différents temps de latence retenus montrent des valeurs proches (environ 90 %). Cette variation peut s'expliquer par des différences d'intensité et de durée des épisodes pollués ainsi que par l'interférence d'autres facteurs de morbidités.

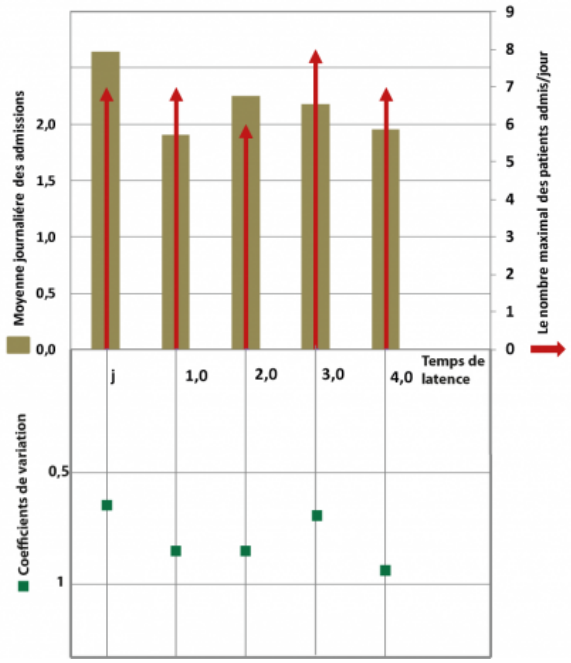

Figure 4 : Variation des moyennes journalières des admissions pour maladies respiratoires, lors de concentrations en PM_{10} >120 µg/m^3, aux temps de latences : J+1, J+2, J+3 et J+4, leurs valeurs maximales absolues et leurs coefficients de variation (données ANPE, station de Sfax-centre et CHU Hédi Chaker).

Variation of daily means admissions for respiratory diseases at latency times: D+ 1, D+ 2, D + 3 and D + 4, their maximum values and coefficient of variation (data from Hédi Chaker hospital).

3. Résultats des croisements entre les pics de PM_{10} et les admissions pour maladies respiratoires

16 Durant les années 2007, 2009 et 2010, les dépassements de la valeur guide tunisienne sont peu fréquents (figure 5), 84 jours au total. Ces pics de PM_{10} sont parmi les facteurs explicatifs des admissions pour maladies respiratoires. En effet, la répartition mensuelle des admissions change si nous retenons uniquement les épisodes pollués (figure 5B vs 5A). Le maximum des admissions se reporte de l'hiver au printemps, saison durant laquelle les dépassements journaliers de 120 $\mu g/m^3$ de PM_{10} sont plus fréquents. Un coefficient de corrélation r = 0,9 (figure 5) est obtenu entre les moyennes mensuelles des pics de PM_{10} et celles des admissions pour maladies respiratoires. Le nombre maximal des dépassements de la valeur guide tunisienne de PM_{10} ainsi que des admissions est remarqué pendant le mois de mai. Il atteint respectivement 15 jours de pics et 43 admissions pour maladies respiratoires, pendant les trois années étudiées. À l'échelle saisonnière, les dépassements de la valeur guide tunisienne pour les PM_{10} sont plus fréquents au printemps (mars-avril et mai) expliquant, en partie, un nombre relativement élevé des admissions pour maladies respiratoires. En fait, environ 40 % des admissions hospitalières sont enregistrées au printemps et sont associés à 80 dépassements de la valeur guide tunisienne de PM_{10} (figure 5). En effet, ces derniers s'expliquent par une occurrence accrue des phénomènes de lithométéores au printemps (Dahech et Beltrando, 2012). Éventuellement, durant cette saison, l'abondance des pollens pourraient exacerber certaines allergies respiratoires (Jarraya, 2009).

17 Durant la saison estivale (juin, juillet et août) les admissions hospitalières pour maladies respiratoires baissent parallèlement à la diminution des pics de PM_{10}. Durant cette saison, nous relevons 45 admis-

sions pour maladies respiratoires et 11 dépassements de la valeur guide journalière fixée à 120 μ/gm^3. La baisse des concentrations en PM_{10} s'explique, d'une part, par la fluidité du trafic routier au centre-ville en été, correspondant aux vacances scolaires et aux congés annuels. D'autre part, les vents forts, soulevant les poussières, sont rares car le centre tunisien est sous l'influence d'un marais barométrique en surface et d'un haut géopotentiel en altitude (Hénia, 1998). Les particules sont principalement d'origine industrielle durant cette saison (Dahech, 2007).

18 Au cours de l'hiver (janvier, février et décembre), nous relevons 17 dépassements de la valeur guide tunisienne journalière et 39 admis pour causes respiratoires. Durant la saison froide, les situations anticycloniques sont fréquentes et offrent, certains jours, des conditions favorables aux fortes concentrations des PM_{10}. Toutefois, l'augmentation des admissions pour maladies respiratoires est tributaire du facteur viral qui justifie souvent les sur-admissions (figure 6). Les valeurs hivernales sont proches de celles enregistrées en automne. Durant cette saison, particulièrement au mois de novembre, le vent de sable est plus fréquent, ce qui explique en partie l'augmentation des concentrations en PM_{10} et conséquemment des admissions.

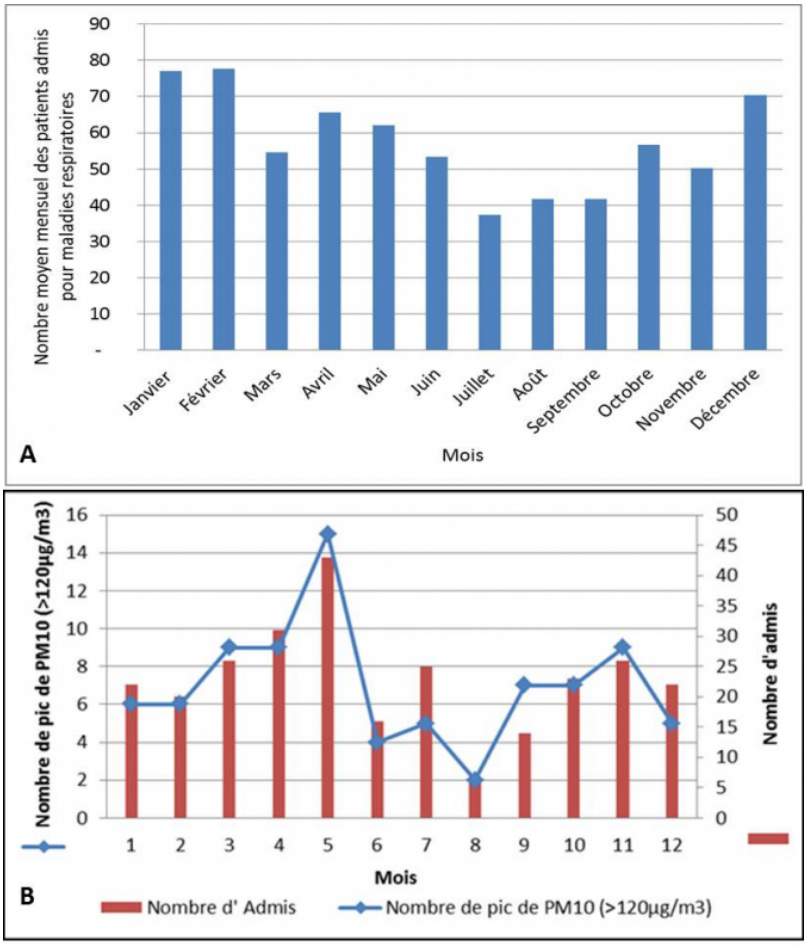

Figure 5 : Variabilité mensuelle du nombre des patients admis pour maladies respiratoires (A) et variation mensuelle des admissions quand les concentrations journalières de PM_{10} dépassent 120 µg/m^3 (B) au cours des années 2007, 2009 et 2010 à Sfax (données ANPE, station de Sfax-centre et CHU Hédi Chaker ; r de Bravais Pearson = 0,9).

Mean monthly variation of admission for respiratory diseases (A) and monthly variation of admissions and number of daily average PM_{10} concentrations exceeding 120µg/m^3 (B) in 2007, 2009 and 2010 in Sfax (ANPE data, Sfax center station and CHU Hédi Chaker; r = 0.9).

4. Résultats des croisements statistiques entre les pics de PM_{10} et les sur-admissions[5] pour maladies respiratoires

19 En somme, 113 jours/an sont marqués par des admissions pour maladies respiratoires dépassant 3 patients/jour (figure 6). La totalité des sur-admissions pour maladies respiratoires sont précédés par de fortes concentrations de PM_{10} dépassant la valeur guide tunisienne.

20 Le profil du nombre mensuel d'admis change sensiblement si on ne considère que les sur-admissions (figure 6 par rapport à la figure 5). En fait, nous remarquons une augmentation des sur-admissions en hiver et durant le mois d'avril. Le facteur viral en hiver et les allergies aux pollens au printemps expliquent en partie cette augmentation. La relation entre le nombre journalier des pics de PM_{10} et des sur-admissions, à l'échelle mensuelle, devient ainsi moins forte : r = 0,7 (contre 0.9 par rapport aux admissions, figure 5). Le facteur climatique, plus précisément les vagues de froid, est à exclure car durant les trois années étudiées, nous n'avons pas enregistré de situations paroxysmiques hivernales. Toutefois, le facteur climatique demeure primordial pour expliquer les pics de pollution atmosphérique.

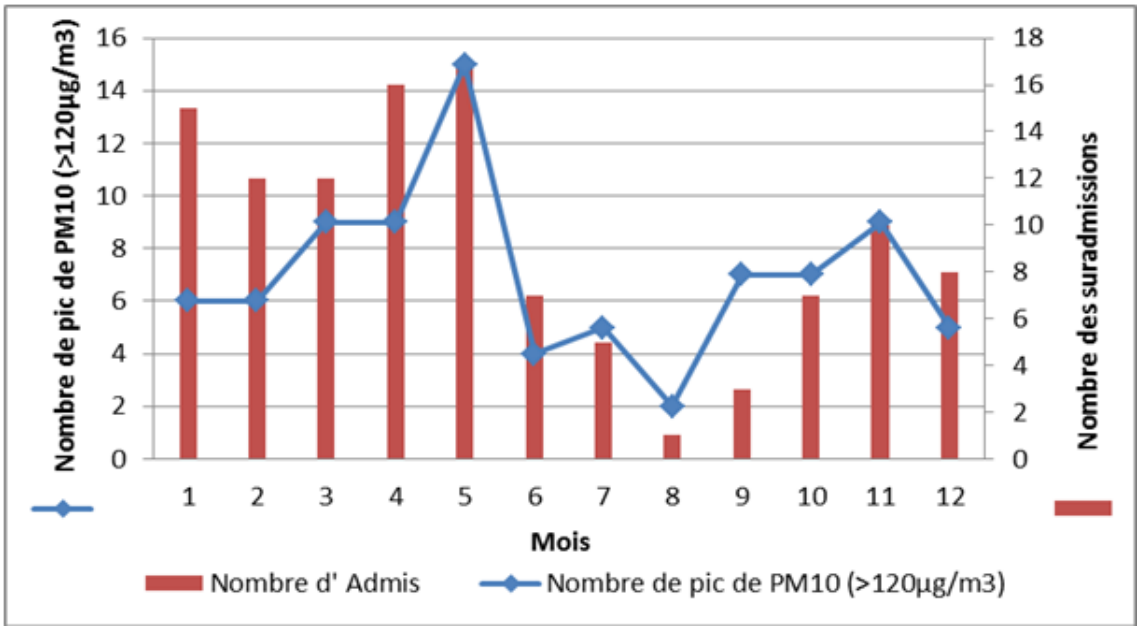

Figure 6 : Variation mensuelle des sur-admissions et des concentrations journalières de PM_{10} dépassant 120 µg/m^3 au cours des années 2007, 2009 et 2010 à Sfax (données ANPE, Sfax centre et CHU HédiChaker, 2016 ; r = 0,72).
Monthly variation of hospital overadmission and number of daily average PM_{10} concentrations exceeding 120µg/m^3 in 2007, 2009 and 2010 in Sfax (ANPE data, Sfax center and CHU HédiChaker, r = 0.72)

5. Type de temps responsable des dépassements de la valeur guide tunisienne fixée à 120 µg/m^3 en 2015

5.1. Dépassements journaliers de PM_{10} et types de temps associés

21 Les types de temps représentent une combinaison de données météorologiques influencées par les conditions locales et commandées par la circulation (Vigneau, 2004). À Sfax, les principaux types de temps pour la période 1980-2002 sont identifiés par Dahech (2007).

22 Les types de temps associés aux dépassements de la valeur guide tunisienne sont répertoriés, d'abord, par saison. Les jours marqués par des dépassements journaliers de PM_{10} sont associés à un type de temps favorable aux fortes concentrations des polluants quelle que soit la saison. Durant la saison hivernale le beau temps avec vents venant de l'ouest ou par la brise littorale, ainsi que les situations à vent de sable et sirocco sont des conditions climatiques propices aux fortes concentrations en PM_{10} (figure 7A). En effet, durant cette saison, les situations de beau temps avec alternance entre brise de mer, le jour, et de terre, la nuit, sont associées à un pourcentage élevé de pics de PM_{10} (45 % des observations). La forte stabilité de l'atmosphère, notamment en phase nocturne, ainsi que la circulation en boucle des brises littorales favorisent la forte concentration des polluants atmosphériques (Simpson, 1994 ; Carrega, 1994). Également, les situations de sirocco avec des vents modérés à forts amenant des

poussières du Sahara contribuent à 31 % des dépassements de la valeur guide tunisienne en hiver. Il est à noter que le Sirocco, venant du quadrant sud advecte vers le centre-ville (où se trouve la station de mesure des PM_{10}) une grande quantité des émissions polluantes issues des zones industrielles situées sur la partie sud de l'agglomération comme Thyna, El Maou, Sidi Salem et Madagascar (Dahech, 2007) et ce, durant les autres saisons également.

23 Au printemps les pourcentages les plus élevés des épisodes de PM_{10}>120 µg/m^3/jour sont remarqués par beau temps avec alternance des brises (mer/terre), soit au total plus de 55 % des observations. Ensuite, un temps partiellement nuageux avec un vent synoptique faible à modéré venant du nord-est, contribue à 25 % des dépassements. Enfin, 15 % de ces derniers sont enregistrés par un temps chaud et sec marqué par un sirocco qui peut transporter, parfois, des poussières.

24 En automne, environ 30 % des concentrations journalière moyennes de PM_{10} dépassant 120 µg/m^{3}sont relevées par un beau temps avec une alternance entre brise de mer et de terre (figure 7C). De plus, les situations de sirocco sont responsables de 24 % des dépassements. Durant cette saison, un vent modéré à fort venant du secteur sud-ouest provoque parfois des chasses de sable manifestement responsables de certains dépassements de la valeur guide tunisienne des PM_{10}. Cette affirmation mériterait d'être vérifiée par une signature chimique de la masse des PM relevée à la station.

25 Durant la saison estivale, deux principaux types de temps sont relevés, favorisant les concentrations élevées de PM_{10} : un beau temps avec l'alternance entre brise de mer et de terre (83 %) et un beau temps avec un vent synoptique d'est (17 %) sont responsables des pics de $PM_{10,}$ durant les années 2007, 2009 et 2010. Rappelons que les situations radiatives favorisent le déclenchement des vents locaux et sont souvent associées à une inversion thermique en phase nocturne (Michelot, 2014).

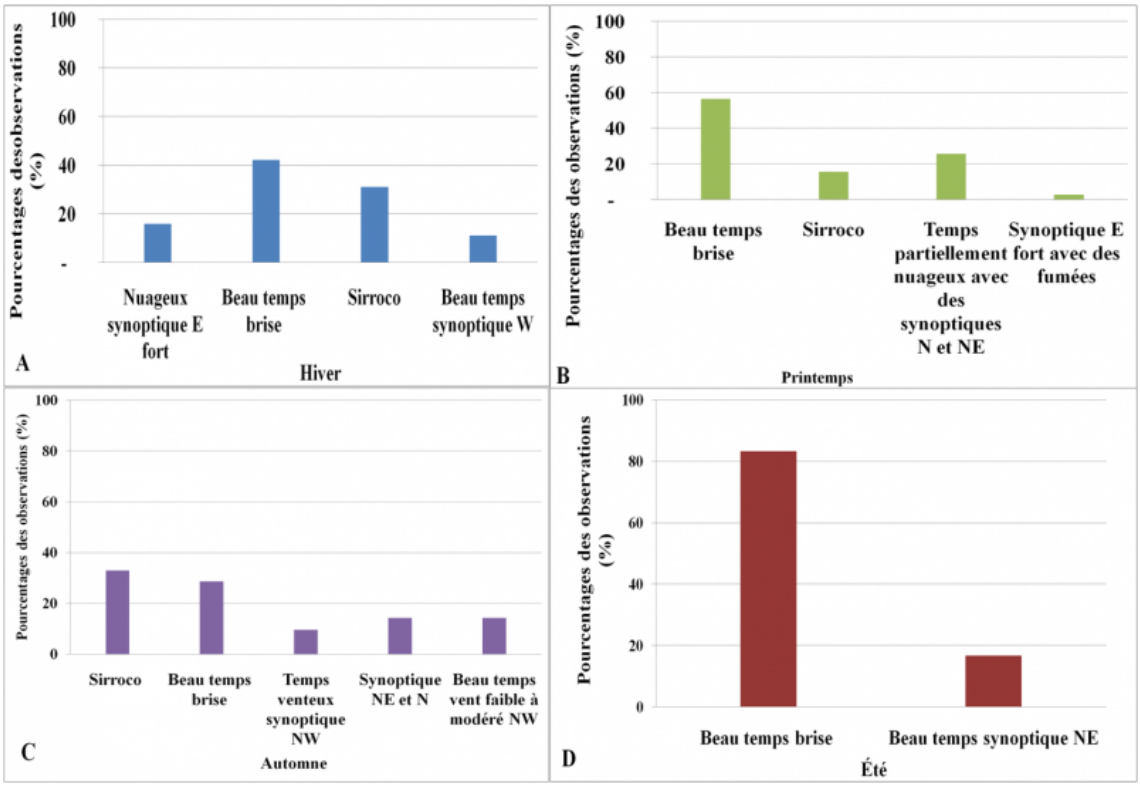

Figure 7 : Types de temps associés aux 84 pics de PM_{10} durant la période étudiée : (A) ; hiver, (B) ; printemps, (C) ; automne, (D) été (données de l'ANPE et l'INM, 2016).
Weather types associated with 84 peaks of PM_{10} during the period studied: (A); winter, (B); spring, (C); autumn, (D) summer.

5. 2 Étude de cas des épisodes de PM_{10} : types de temps et admissions associées

5.2.1 Épisode de PM_{10} du 18/05/2009 au 21/05/2009 : type de temps et admissions pour maladies respiratoires associées.

26 Les pics aigus de PM_{10} isolés (1 jour) et notamment ceux persistants (2 jours et plus) pourraient avoir un impact déterminant sur les admissions journalières pour maladies respiratoires. En effet, ces pics de PM_{10}, aigus et persistants, ont été identifiés à partir de notre base de données et subséquemment croisés aux admissions journalières pour maladies respiratoires au temps de latence de J à J+4. Parallèle-

ment, les conditions météorologiques (pression, vitesse et direction du vent) responsables de ces épisodes de PM_{10} ont été identifiées.

27 En effet, un épisode persistant de PM_{10} atteignit 140 µg/m^3 en moyenne journalière durant la période du 15 au 21/05/2009). Pendant cette période, la vitesse moyenne du vent fut inférieure à 3m/s. De plus, les conditions atmosphériques étaient favorables au déclenchement des brises littorales durant les 3 premiers jours (pression atmosphérique moyenne de 1018 hPa). Nous remarquons durant ce temps des valeurs nocturnes supérieures à 140 µg/m^3 à cause de la forte stabilité de l'atmosphère et de l'installation d'une inversion thermique bloquant la dispersion verticale des polluants atmosphériques (Lyon et Olsson, 1973 ; Carrega, 1995). Le quatrième jour a été marqué par un vent synoptique venant du nord au nord-est. Le beau temps a favorisé l'accumulation des particules (PM_{10}). Conséquemment, les admissions pour maladies respiratoires ont augmenté (4,2 patients admis par jour). En ce qui concerne l'éventuel impact sanitaire des autres polluants atmosphériques (NO_x, O_3, CO, SO_2) nous signalons que les données horaires disponibles confirment de faibles concentrations. Durant les quatre jours suivant le pic de PM10, les températures moyennes journalières sont modérées (environ 16,5 C°). L'écart thermique entre les températures quotidiennes et la normale mensuelle est faible, donc aucun stress thermique pathogénique, notamment respiratoire, sur la population de Sfax n'a été enregistré durant cette période. La figure 8 montre aussi un dépassement ponctuel le 15 mai 2009 à la suite d'un vent modéré à fort, par moments, déplaçant les poussières. Ce jour même, des fumées noires ont été remarquées et signalées par le service météorologique. Les concentrations journalières de PM10 ont atteint 185 µg/m^3 ce qui peut expliquer la hausse des admissions 2 jours après (6 patients admis, le 17 mai 2009).

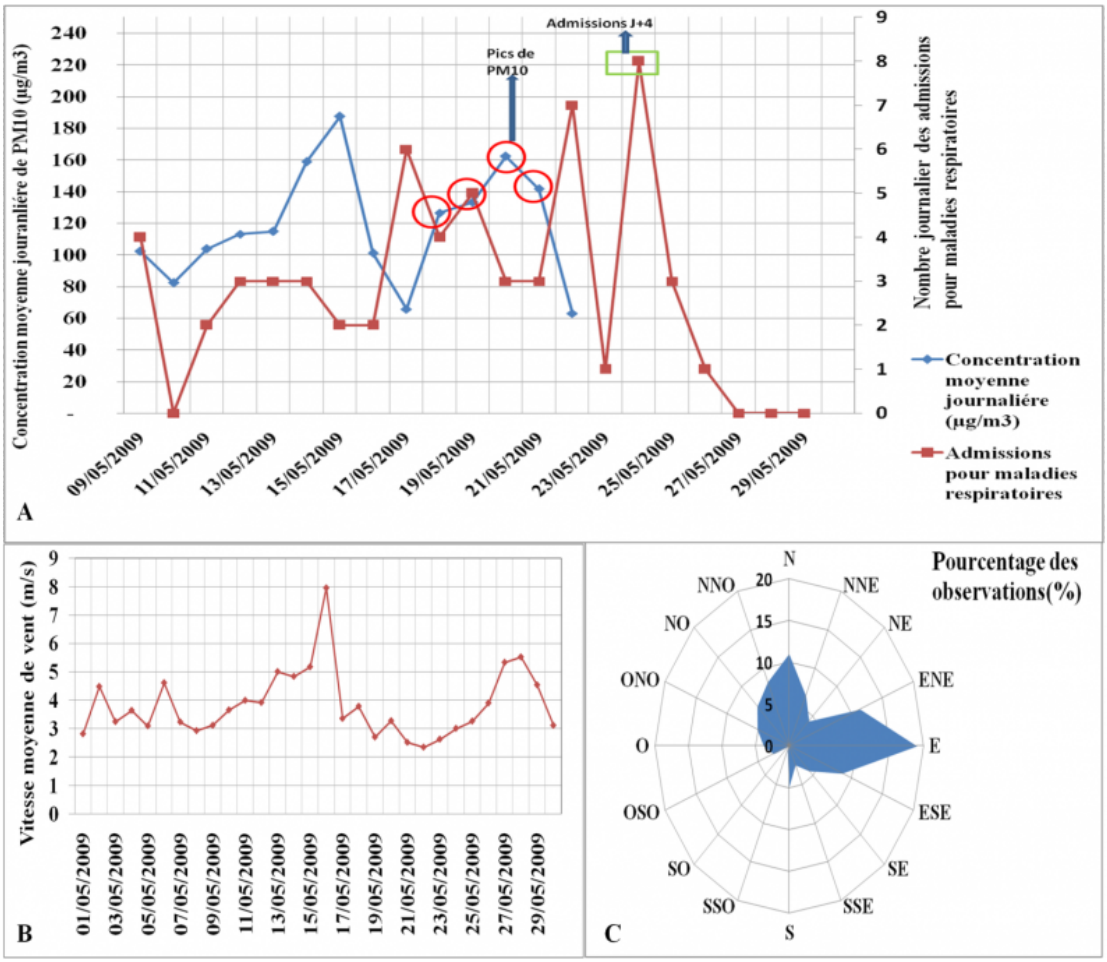

Figure 8 : (A) Moyennes journalières de PM_{10} et total quotidien des admissions vitesse moyenne journalière du vent (B) et rose de vent (C) enregistrées en mai 2009 (données ANPE, INM et CHU de Hédi Chaker).

(A) Daily average PM_{10} concentrations and hospital admissions; wind speed (B) and direction (C) recorded during May 2009. (data from ANPE, INM and CHU of Hédi Chaker).

5.3.2 Pics de PM_{10} du 16 au 19 février 2010

28 Au cours de cet épisode avec de fortes concentrations en PM_{10} étalées sur quatre jours du 16/02/2010 au 19/02/2010, la concentration journalière moyenne de PM_{10} était de 210 µg/m^3 soit 1,75 fois la valeur guide tunisienne. Un temps changeant est associé à ces teneurs élevées de PM_{10}. En effet, au premier jour (le 16/2/2010), la concentration journalière de PM_{10} a atteint 152 µg/m^3. Une faible pression atmosphérique en surface (998 hPa) a déclenché des vents forts, ramenant des sables fins depuis le sud tunisien. Au deuxième

jour, le 17/02/2010, le vent se calma, la moyenne journalière de PM_{10} était de 174 µg/m^3 ; un Sirocco soufflant du sud-ouest fit remonter la température maximale à plus de 26°C et achemina les polluants émis par les zones industrielles situées le long de la partie méridionale de la ville vers le centre (station ANPE). Au troisième jour, le 18/02/2010, la situation était semblable à celle du jour précédent, un vent modéré de 3,5 m/s venant du quadrant sud fit remonter la température à 29°C. Le lendemain le vent se leva de nouveau et continua de souffler du sud-ouest charriant les poussières du désert et soulevant les poussières du sol. Conséquemment, les concentrations en PM10 dépassèrent 260 µg/m^3. Le nombre total des admissions pour maladies respiratoires au cours des 5 jours suivant atteint 23 patients, soit 4,6 patients admis par jour (figure 9). Par ailleurs, les enregistrements horaires des autres polluants, mesurés par les deux stations de la qualité de l'air à Sfax, comme les exemples de CO, SO_2, O_3 sont lacunaires. Cependant, les enregistrements horaires des oxydes d'azote sont disponibles, mais leurs concentrations journalières étaient très faibles et ne dépassaient pas les normes de santé journalières préconisées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Pareillement, nous notons l'absence du froid pendant cet épisode hivernal. En effet, le seuil défini par Boubaker (2010) correspondant au percentile 10 % est largement dépassé.

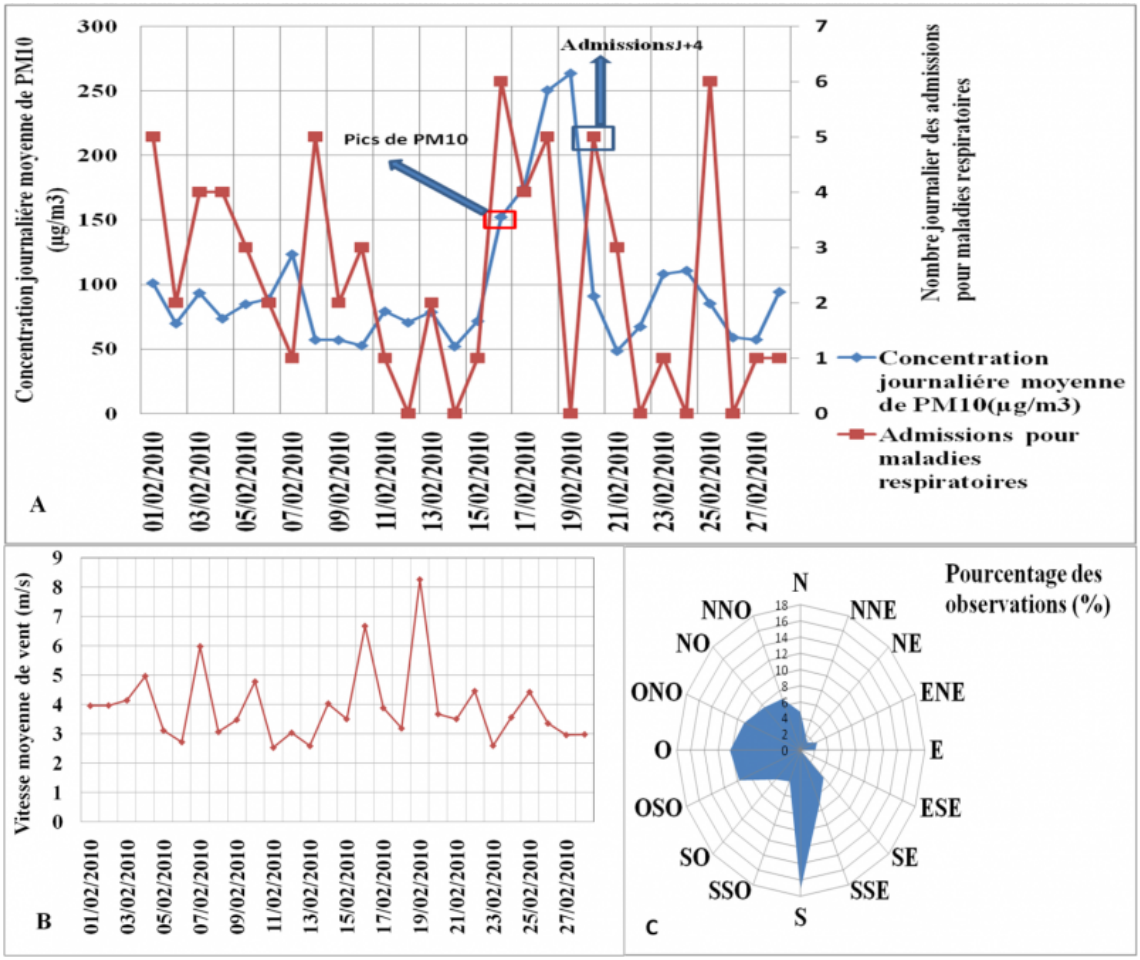

Figure 9 : (A) Moyennes journalières de PM_{10} et total quotidien des admissions vitesse moyenne journalière du vent (B) et rose de vent (C) enregistrées en février 2010 (données ANPE, INM et CHU de Hédi Chaker).
Daily average PM_{10} concentrations and hospital admissions; wind speed (B) and direction (C) recorded during February 2010. (data from ANPE, INM and CHU of Hédi Chaker).

6. Répartition spatiale des parts relatives des admissions pour causes respiratoires

29 Une station ne peut exprimer à elle seule la qualité de l'air dans toute l'agglomération de Sfax. Des études antérieures menées par Khlaifi *et al.*, 2008 et Dahech *et al.*, 2011 ont identifié les zones les plus exposées à la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Sfax. Des

quantités de SO_2 émises par la Société Industrielle d'Acide phosphorique et d'Engrais (SIAPE) ont été spatialisées en utilisant les simulations d'un modèle numérique de type Gaussien. Par conséquence, les habitants des quartiers de la délégation de Sfax Ouest sont les plus touchés par les émissions polluantes de SO_2, principalement les cités de Elhabib et M'harza.

30 La consultation des adresses des patients admis pour maladies respiratoires durant les années 2007, 2009 et 2010 montre une répartition géographique inégale des patients admis à l'échelle de l'agglomération de Sfax (figure 10). En premier lieu, 26 % des patients sont originaires de la délégation de Sfax Ouest. En effet, les patients admis habitant cette délégation sont très proches des principales sources d'émission polluantes dans l'agglomération et sont les plus exposés aux rejets polluants (gazeux et particulaires) de la SIAPE, (Dahech, 2007). En second lieu, les admis originaires des délégations de Sfax Sud et de Sfax ville représentent respectivement 20 % et 18 % du total des admis habitant le Grand Sfax (figure 9). Cela pourrait se justifier par le trafic routier très dense dans le centre-ville, émettant des quantités importantes de PM_{10}.

31 Aux échelles géographiques plus fines, il s'est avéré que les patients admis pour maladies respiratoires se répartissent de la manière suivante : les admissions pour maladies respiratoires habitant les quartiers desservis par les routes de l'aéroport et de Gabes enregistrent les pourcentages les plus élevés, respectivement 16 % et 13 % (figure 10). La plupart des sources polluantes se situent dans cette zone. Ces deux routes nationales se caractérisent par un trafic routier dense. Dans ce contexte, des études européennes et américaines ont montré que la proximité des lieux de vie au trafic routier augmente considérablement la prévalence de certaines pathologies (asthme, bronchite, etc.) respiratoires aigües et notamment celles chroniques (cancer du poumon) (INVS, 2006 ; Hoffmann *et al.*, 2006 ; RJ *et al.*, 2009 ; Host, 2017).

32 De même les patients admis habitant le secteur de Saltnia (NE du centre-ville de Sfax) représentent 17 % du total des admis. Rappelons que les zones industrielles de poudrière 1 et 2 sont situées à proximité de cette zone. Pareillement, les décharges sauvages incinérant des déchets à ciel ouvert sont nombreuses (Euchi et Dahech, 2017).

De plus, le niveau socio-économique d'une majorité des quartiers précités est bas. Ce paramètre pourrait augmenter la vulnérabilité de la population face au risque de pollution atmosphérique. Toutefois, les résultats de la répartition spatiale des admis par délégation demeurent approximatifs car les adresses sont parfois mal renseignées et manquent de précision.

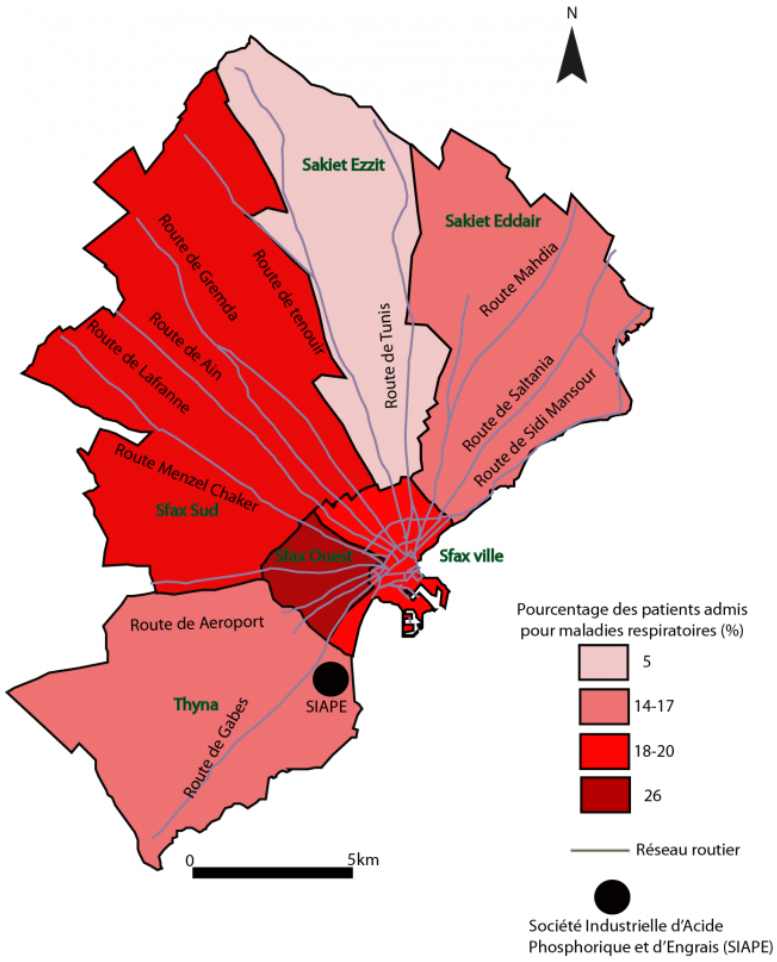

Figure 10 : Répartition approximative des patients admis pour maladies respiratoires à l'échelle des délégations du Grand Sfax (données de CHU Hédi Chaker) au cours des années 2007, 2009 et 2010
Spatial distribution of patients admitted for respiratory diseases in Great Sfax (data from CHU Hédi Chaker) during 2007, 2009 and 2010.

7. Discussion

33 La pollution atmosphérique n'est qu'un facteur de risque sanitaire parmi d'autres. L'échantillon traité dans ce travail demeure faible et,

pourrait dans ces cas être souvent biaisé par les caractéristiques de comportement individuel (tabac, immuno dépressif, facteurs aggravants, etc.). En effet, dans la ville de Sfax, les zones les plus exposées aux sources de pollution atmosphérique sont généralement occupées par une population possédant un niveau socio-économique faible (Dahech, 2007). Ce paramètre accentue énormément la vulnérabilité des habitants face aux maladies respiratoires (Riachy *et al.*, 2008). En Tunisie, une étude récente, relevant de la bioclimatologie humaine, a montré une corrélation positive entre les phénomènes paroxysmiques thermiques (chaleur et froid) et la mortalité dans la délégation d'Agreb (ouest du gouvernorat de Sfax) en mettant l'accent sur le rôle aggravant du facteur socio-économique (Dahech, 2014). Cependant, aux dates des 84 concentrations journalières élevées de PM_{10} aucun événement climatique exceptionnel n'a été enregistré à Sfax (les situations de Sirocco n'ont pas eu lieu durant la saison chaude) donc les effets du temps, particulièrement la chaleur excessive et le froid, sont exclus. Toutefois, le rôle considérable et déterminant des virus (dont le virus respiratoire syncytial) et des allergies aux pollens n'a pas été vérifié dans ce travail faute de données.

34 Les données de PM_{10}, légèrement lacunaires, ne couvrent qu'une période de trois ans, ce qui offre des conclusions partielles. De même, les mesures de pollution demeurent ponctuelles et ne permettent pas d'avoir une idée sur la qualité de l'air instantanément dans plusieurs quartiers de l'agglomération. Pour répondre à cette question préoccupante, une étude est actuellement menée en se basant sur des mesures réalisées par un réseau de cinq capteurs mis en place en janvier 2019 à la suite d'une collaboration avec l'université Paris Diderot et le labEx DynamiTe. Ces capteurs mesurent en plus des PM_{10} les particules fines $PM_{2,5}$, pouvant causer plus de danger sanitaires que les premières (Xing *et al.*, 2016). Les résultats de cette étude permettraient de mieux comprendre la variabilité spatio-temporelle des particules et valider certaines hypothèses concernant l'origine spatiale des patients admis et la proximité des principales sources des particules.

35 Éventuellement, dans les prochains travaux, il parait utile de caractériser chimiquement les PM afin d'établir leurs origines exactes. En effet, à l'aide de traceur spécifique (black carbon, levoglucosan, etc.) il est possible d'évaluer la contribution des principales

sources (Michelot *et al.*, 2015). Les particules peuvent être d'origine naturelle (crustale ou terrigène, ramenées par la brise de mer ou le Sirocco), comme elle pourrait provenir du trafic routier, de l'activité industrielle, ou encore de déchèteries sauvage. L'ensemble de ces sources de nuisances évoluent nécessairement dans le temps et dans l'espace à l'échelle de l'agglomération de Sfax. Ce travail de caractérisation chimique des PM est possible en collaborant avec les collègues de l'École Nationale des Ingénieurs de Sfax.

36 Afin d'améliorer la qualité de l'air à Sfax et dans les autres villes littorales polluées comme Gabès et Tunis, certaines mesures sont à privilégiées dans le proche futur par les acteurs locaux et les élus en collaboration avec les chercheurs et les industriels. D'abord, nous proposons la densification du réseau de mesure de la qualité de l'air et une amélioration de l'entretien des stations en place. Une information fiable et continue, émanant de l'ANPE, permettrait d'alerter les différents acteurs précités en cas de fortes concentrations en polluants quelles que soit leurs origines : naturelle ou anthropique. Ensuite, une intervention au niveau des sources d'émission particulièrement l'industrie du traitement des phosphates et les décharges sauvages parait urgente telle que la délocalisation de certaines sources d'émission comme la SIAPE à Sfax et l'interdiction des décharges brulées à ciel ouvert en sanctionnant sévèrement les actes d'incivisme. Puis une collaboration réelle entre l'ANPE, les services météorologiques, les industrielles et les médias permettrait de réduire l'exposition aux fortes concentrations des polluants.

37 Enfin, en 2018, une révision à la baisse des seuils de pollution à ne pas dépasser a été décrétée et a paru dans le Journal Officiel de la République Tunisienne du 25 mai 2018. La réduction des seuils d'alerte sera progressive de 2018 à 2021. Toutefois, les nouveaux seuils d'alerte pour les PM_{10} « *ne s'appliquent qu'à la part des concentrations non liées à des événements naturels (éruptions volcaniques, activités sismiques, vents violents et remise en suspension atmosphérique ou transport de particules naturelles provenant de régions désertiques)* » (Jort, 2018). Cette exception est inacceptable à notre avis car la population devrait être alertée quelle que soit la source de la pollution.

Conclusion

38 Ce travail a permis d'estimer l'éventuel impact sanitaire, à court terme, de l'exposition aux pics des PM_{10} issues de sources polluantes multiples durant les années 2007, 2009 et 2010. Au cours de ces années, au temps de latence de de j, j+1, j+2, j+3 et j+4, la valeur guide tunisienne, fixée à 120 µ/gm^3 en 2015 (en moyenne journalière), a été dépassée pendant 84 jours. Ces dépassements sont relevés principalement (environ 60 % des cas) par beau temps avec l'alternance des brises (terre/mer) et en cas de litho-météores (environ 20 % des observations). Les épisodes pollués selon la norme tunisienne (> à 120 µg/m^3) sont accompagnés d'une hausse moyenne de 293 % au niveau des admissions à l'hôpital universitaire Hédi Chaker pour causes respiratoires. Ce pourcentage est proche de celui enregistré à Tunis à l'hôpital La Rabta (Ben Romdhane, 2018).

39 Le pourcentage maximal des admissions pour maladies respiratoires est relevé durant la saison printanière enregistrant à elle seule 40 %. Une forte relation est établie (r = 0,9) entre le nombre de dépassement de la valeur guide tunisienne de PM_{10} et les admissions pour maladies respiratoires.

40 Les conséquences sanitaires respiratoires sont d'autant plus graves que les épisodes pollués sont persistants (2 jours et plus) et intenses. À titre d'exemple, l'épisode persistant de PM_{10}, du 18/05/2009 au 21/05/2009, a été associé à 38 admissions pour maladies respiratoires.

41 Une majeure partie des admis habitent des quartiers proches des sources d'émission polluantes (SIAPE, décharges sauvages incinérées à ciel ouvert, trafic routier dense, dans les délégations de Sfax Ouest, Sfax Sud et Sfax-ville.

42 Les effets sanitaires de la pollution atmosphérique ne se limitent pas aux maladies respiratoires. Dans des études postérieures nous essayons de montrer l'éventuel impact des pics des polluants atmosphériques sur les admissions pour maladies cardiovasculaires en intégrant les admissions aux services de pneumologie dans des cliniques privées.

Nos vifs remerciements s'adressent aux labEx DynamiTe, à l'ANPE et au CHU Hédi Chaker de Sfax qui ont contribué à ce travail.

Webographie

Organisation Mondiale de la Santé (OMS) :www.who.int/fr

Ministère de l'environnement de la Tunisie : www.environnement.gov.tn

www.wunderground.com/weather/tn/sfax

Agence Nationale de Protection de l'Environnement : www.anpe.nat.tn/Fr/FileUpload_F137

Institut National de Statistique de la Tunisie : http://www.ins.nat.tn

BIBLIOGRAPHY

Ben Romdhane S, 2018 : Effet du climat et de la pollution de l'air sur la santé respiratoire à Tunis. Thèse de doctorat, Université de Tunis, 375p.

Carrega P, 1994 : Topoclimatologie et habitat. Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée, 35 et 36, 408 p.

Carrega P, 1995 : *Approches de la structure thermique et hygrométrique d'une brise de mer par mesures aéroportées*. Climat pollution atmosphérique santé, Hommage à Gisèle Escourrou, groupement de recherche climat et santé, Dijon, 165-175.

Dahech S, 2007 : Le vent à Sfax (Tunisie), impacts sur le climat et la pollution atmosphérique (Thèse de doctorat). Université Paris VI, France, 347p.

Dahech S, 2014 : Paroxysmes thermiques et mortalité : le cas dans la délégation d'Agareb au sud-est tunisien (2000-2012), publication pour les Actes du 27e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 2-5 juillet 2014, (530-536), Dijon (France). Disponible sur http://www.climato.be/aic/colloques/actes/Dijon2014_actes.pdf

Dahech S, *et al.*, 2011 : Les inégalités spatiales de la qualité de l'air dans l'agglomération de Sfax et ses environs : le cas des températures, de la brise, du CO et SO_2, Cybergeo. 14 p. Disponible sur : https://journals.openedition.org/cybergeo/24701

Dahech S. et Beltrando G, 2012 : Les vents de sable dans le Sud tunisien. La Météorologie, n° 79, 40-50. Disponible sur http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/48512

Dauphiné A, 1976 : Les précipitations dans les midis français, Thèse de doctorat, Lille III/Champion, 591 p. + annexes.

Delfino RJ, Chang JWu, C. Ren *et al.*,, 2009: Repeated hospital encounters for asthma in children and exposure to traffic-related air pollution near the home, Ann. Allergy Asthma Immunol, n °102(2), 138-144 : Disponible sur https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19230465

Euchi H et Dahech S, 2017 : Les décharges sauvages dans l'agglomération de Sfax : impacts sanitaires sur les enfants. Actes du 30ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, du 03-06 juillet, Sfax (Tunisie). Disponible sur http://www.climato.be/aic/colloques/actes/Sfax2017_actes.pdf

Euchi H, Dahech S, El Melki T *et al.*, 2018 : Impacts sanitaires des pics de pollution de l'air aux PM_{10} et SO_2 à Sfax (Tunisie), Actes du 31ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie du 4-7 juillet, Nice (France), 232-237. Disponible sur : http://www.climato.be/aic/colloques/actes/Nice2018_actes.pdf

Gargouri I, Rebaï A, Khadhraoui M *et al.*, 2006 : Impact sanitaire des variations quotidiennes de la pollution atmosphérique urbaine : étude de faisabilité dans la ville de Sfax (Tunisie). Environ Risques et Santé 5(6), 467-475. Disponible sur https://www.jle.com/10.1684/ers.2006.0021

Gehring U., Wijga A.H., Hoek G., *et al.*, 2015: Exposure to air pollution and development of asthma and rhinoconjunctivitis throughout childhood and adolescence: a population-based birth cohort study. Lancet Respir Med 3(12), 933-942. Disponible sur https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27057569

Hénia L, 1998 : Les situations anticycloniques en Tunisie. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, 11, 166-174. Disponible sur http://www.climato.be/aic/colloques/actes/PubAIC_11_Lille.pdf

Hoffmann B, Moebus S, Stang A *et al.*, 2006: Residence close to high traffic and prevalence of coronary heart disease. Eur Heart J, 27(22), 2696-2702. Disponible sur https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17003049

Host S et Duchesne L, 2017 : Quantification de l'impact sanitaire des mesures de réduction de la pollution atmosphérique : apport de la littérature scientifique. Pollution atmosphérique, n° 235. Disponible sur https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.6366

Host S, 2012 : Exposition à la pollution atmosphérique liée au trafic routier et risques sanitaires. VertigO, HS 15, 17 p. Disponible sur https://doi.org/10.4000/vertigo.12816

Institut de Veille Sanitaire (INVS), 2006 : Effets à long terme de la pollution atmosphérique. Extrapol, n°29, 48 p. Disponible sur http://invs.santepubliquefrance.fr/publications/extrapol/29/extrapol_29.pdf

Ionescu A, 2017 : Prévision statistique des concentrations de particules dans l'air : tour d'horizon des principaux outils mathématiques. Pollution atmosphérique, n° 217, 12 p. Disponible sur : https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.873

Jarraya M, 2009 : Biométéorologie de la morbidité respiratoire dans le secteur public de la santé à Sfax. Thèse de

doctorat, Université Paris Diderot (Paris 7), 361 p.

Journal Officiel de la République Tunisienne — 25 mai 2018, n° 42. Disponible sur : http://www.cnudst.rnrt.tn/jortsrc/2018/2018f/jo0422018.pdf

Khlaifi A, Dahech S, Beltrando G *et al.*, 2008: Study of the SO_2 dispersion with the Gaussian model according to the atmospheric circulation in a coastal city: Sfax (Tunisia). Meteorological Applications, n°15(4), 513-522. Disponible sur : https://doi.org/10.1002/met.100

Koné B., 2008 : Pollution lagunaire, risques sanitaires et environnementaux des populations riveraines de la lagune à Abidjan : cas de trois villages de la commune de Yopougon. Thèse de doctorat. Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire, 305p.

Lin S, Jones R, Pantea C *et al.*, 2013: Impact of NOx emissions reduction policy on hospitalizations for respiratory disease in New York State. J Expos Science Envir Epidemiol, n °23, 73-80. Disponible sur: https://www.nature.com/articles/jes201269

Lyon WA et Olsson L., 1973: Detailed mesometeorological studies of air pollution dispersion over Chicago lake breeze. Monthly Weather Review, Boston Vol **XI**, 387-403.

Manners S, Alam R, Schwartz DA *et al.*, 2014: Mouse model links asthma susceptibility to prenatal exposure to diesel exhaust. J Allergy Clin Immunol, n °134(1), 63-72. Disponible sur https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24365139

Mazenq J, Dubus J.-C, Gaudart J *et al.*, 2016 : Pollution atmosphérique et consultation pour asthme aux urgences chez l'enfant. Archives de pédiatrie, n °23(12), 1296-1297. Disponible sur : https://doi.org/10.1016/j.arcped.2016.09.02

Medina S et Pascal M., 2012 : Résumé des résultats du projet Aphekom 2008-2011. Des clefs pour mieux comprendre les impacts de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Europe. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 6 p. Disponible sur, http://aphekom.org/c/document_library/get_file?uuid=4846eb19-df8a-486e-9393-1b7c7ac78ce3&groupId=10347

Michelot N, 2015 : Le nouveau dispositif français de gestion des pics de pollution : l'arrêté interministériel du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant. Pollution atmosphérique, n° spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », 20-24. Disponible sur : http://appa.asso.fr/_docs/1/fckeditor/file/Revues/Poll

Michelot N, 2014 : L'influence des topoclimats sur la pollution de l'air aux particules dans le sud-ouest des Alpes-Maritimes. Thèse de doctorat, Université de Nice Sophia-Antipolis, France, 416 p.

Michelot N, Endlicher W, Carrega P *et al.*, 2015: Impact of a Saharan dust outbreak on PM_{10} ground levels in Southeastern France. Climatologie, n °12, 65-82. Disponible sur https://doi.org/10.4267/climatologie.1129.

Pascal M, de Crouy Chanel P, Wagner V *et al.*, 2016 : The mortality impacts of fine particules in France. Sci Total Environ, n °15(571), 416-425. Disponible

sur : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27453142

Riachy M, Bou Khalil P, Khayat G *et al.*, 2008 : Influence du niveau socioéconomique bas sur la démographie et les comorbidités de l'asthme. Revue de maladies respiratoires, n °25(3), 275-281. Disponible sur :https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0761842508715468

Rich DQ, Liu K, Zhang J *et al.*, 2015: Differences in Birth Weight Associated with the 2008 Beijing Olympic Air Pollution Reduction: Results from a Natural Experiment. Env Health Perspect n °123(9), 880-887. Disponible sur : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25919693

Roussel I, 2013 : La qualité de l'air et ses enjeux. Pollution atmosphérique, n° 220, 17p. Disponible sur : https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.2518

Ségala C et Duchesne L, 2017 : Impact sanitaire des mesures de réduction de la pollution : les réponses de l'épidémiologie. Pollution atmosphérique, n° 235. Disponible sur : https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.6424

Simona I et Charpin D, 2010 : Fluctuations des taux de polluants atmosphériques et symptômes respiratoires en population générale. Revue des Maladies Respiratoires, n°27(6), 625-638. Disponible sur : https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S076184251000238X

Simpson JE, 1994: Sea breeze, and local winds. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 234 p.

Siwek K et Osowski S, 2012: Improving the accuracy of prediction of PM_{10} pollution by the wavelet transformation and an ensemble of neural predictors. Engineering Applications of Artificial Intelligence, n °25(6), 1246-1258. Disponible sur : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952197611002119

Vigneau JP, 2004 : Un siècle de « type de temps ». Épistémologie d'un concept ambigu. Norois, n °191, 11-13. Disponible sur https://journals.openedition.org/norois/986

Vrijheid M, Robinson L, Slama O *et al.*, 2014: The Human Early-Life Exposome (HELIX): Project Rationale and Design. Environ Health Perspect, n °122(6), 535-544. Disponible sur : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24610234

Wild CP, 2005: Complementing the genome with an "exposome": the outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology. Cancer epidemiology, biomarkers & prevention, n 14(8), 1847–1850. Disponible sur: http://cebp.aacrjournals.org/content/14/8/1847

Xing YF (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Xing%20YF%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=26904255), Xu YH (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Xu%20YH%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=26904255), Shi MH (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Shi%20MH%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=26904255)*et al.*, 2016: The impact of $PM_{2.5}$ on the human respiratory system. Journal of Thoracic Disease, n °8(1), 69-74. Disponible sur : https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19

Yang IV et Schwartz DA, 2012: Epigenetic mechanisms and the

development of asthma. J Allergy Clin Immunol, n °130(6), 1243-1255. Disponible sur : https://doi.org/10.1016/j.jaci.2012.07.052

NOTES

1 Un concept proposé par le docteur Christopher Wild en 2005 résumant la totalité de l'exposition d'un être humain, pendant sa vie, aux polluants atmosphériques. Ce concept exclut le facteur génétique.

2 Les résultats des prétraitements seront détaillés ci-dessous.

3 Fondé en 1927, il est parmi les plus anciens établissements sanitaires publics en Tunisie. D'après le ministère de la santé de la Tunisie en 2015, Ce CHU reçoit en moyenne 40 000 admissions par an et comporte 16 services médicaux.

4 314 jours : le nombre est bien inférieur à la valeur théorique qu'on devrait avoir en multipliant les 84 évènements par 5 (J +4) car certains épisodes se chevauchent.

5 Les jours durant lesquels le nombre absolu des admissions pour maladies respiratoires est égal ou supérieur à trois patients admis sont considérés comme jours de sur-admissions d'après le CHU Hédi Chaker.

ABSTRACTS

Français

L'objectif de cette étude consiste à étudier l'impact des pics de PM_{10} sur la santé respiratoire à Sfax (ville de 600 000 habitants située au centre-est de la Tunisie) en croisant les admissions pour maladies respiratoires issues du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) Hédi Chaker avec les niveaux de PM_{10} fournies par l'Agence Nationale de la Protection de l'Environnement (ANPE). En fonction de la qualité des données disponibles, les années 2007, 2009 et 2010 sont retenues. Les épisodes de PM_{10} dépassant la valeur guide tunisienne pour la protection de la santé (la norme NT 106.04 relative aux PM_{10}), fixée à 120 µg/m^3/jour, tenant compte d'un temps de latence de j+4, sont parmi les facteurs explicatifs de l'accroissement du nombre journalier des admissions pour maladies respiratoires. Ces épisodes, marqués par une hausse d'environ 270 % des admissions pour maladies respiratoires sont enregistrés, souvent, par beau temps avec alternance de brise mer/terre et durant des situations atmosphériques transportant des lithométéores. Une forte corrélation, à l'échelle mensuelle, entre les pics de PM_{10} et les admissions pour maladies respiratoires est remarquée (r = 0,9). De plus, environ

deux tiers des sur-admissions (un nombre journalier supérieur ou égal à 3 patients admis) sont précédées par de fortes concentrations journalières de PM_{10}. Une majeure partie des admis au service de pneumologie du CHU Hédi Chaker réside à proximité des sources d'émission des polluants atmosphériques dans des quartiers pauvres.

English

This study aims to show the impact of PM_{10} peaks on respiratory diseases in Sfax (600 000 inhabitants in Middle Eastern Tunisia) during the years 2007, 2009 and 2010. At the lag time of day + 4, PM_{10} record exceeding the Tunisian guide value, set at 120 µg/m^3, is one of the main parameter explaining the rise of daily hospital admissions for respiratory diseases. These potentially morbid episodes are recorded by sunny weather with alternating sea/ land breeze and during sand wind and dust storm. Indeed, a strong positive correlation, on a monthly scale, is noted between PM_{10} data exceeding 120 µg/m^3 and admissions for respiratory diseases (r= 0.9). In addition, about two-thirds of the over-admissions are preceded by high daily PM_{10} concentrations. Residents close to the atmospheric pollution sources of are the most affected by respiratory diseases.

INDEX

Mots-clés

PM10, type de temps, morbidité respiratoire, Tunisie

Keywords

PM10, weather types, respiratory diseases Tunisia

AUTHORS

Hamdi Euchi

Université de Sfax, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Laboratoire SYFACTE, euchihamdi[@]hotmail.fr

Salem Dahech

Université Paris-Diderot, UMR PRODIG et LaboratoireSYFACTE, salem.dahech[@]gmail.com