

VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DES PM_{2.5} ET NO₂, DANS LE XIIIÈME ARRONDISSEMENT DE PARIS

A. ABDMOULEH¹, S. DAHECH²

¹Abdmouleh Université de Paris, UFR GHES, UMR 8586 du CNRS (PRODIG), France
abdmouleh.mohamedali@yahoo.com.

²Dahech Université de Paris, UFR GHES, UMR 8586 du CNRS (PRODIG), France. ;salem.dahech@gmail.com

Résumé : Ce travail a pour objectif d'analyser les variations spatiotemporelles du niveau de la pollution de l'air aux PM_{2.5} et NO₂ dans le XIIIème arrondissement pendant et en dehors des confinements. Pendant le confinement et durant un temps stable, nous avons enregistré des dépassements de la norme préconisée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour les NO₂ durant les deux périodes de confinement en 2020 (250 µg/m³) notamment dans les rues de Tolbiac, de Chevaleret, au boulevard Périphérique et dans la place d'Italie. Les résultats issus des campagnes de mesures semi-itinérantes, montrent que les concentrations en PM_{2.5} pendant et en dehors des confinements, varient en fonction de la densité du trafic routier et des conditions météorologiques. Ces derniers justifient certains dépassements, pendant le confinement. En effet, par temps radiatif, nous avons enregistrées des valeurs dépassant la norme (OMS) allant jusqu'à 35 µg/m³ comme à rue de Tolbiac, rue Château des Rentiers. Par contre par temps perturbé le niveau baisse de 5 µg/m³ en moyenne et la fréquence d'obtention de concentrations supérieures à 20 µg/m³ était largement plus faible.

Mots clés : COVID-19, Paris XIII, PM_{2.5} et NO₂, temps

Abstract : The objective of this work is to analyze the spatiotemporal variations in the level of air pollution with PM_{2.5} and NO₂ in the XIIIth arrondissement during and outside the confinements. During confinement and during stable weather, we recorded exceedances of the standard recommended by the World Health Organization (WHO) for NO₂ during the two confinement periods in 2020 (250 µg/m³), particularly in the streets rue Tolbiac, rue Chevaleret, boulevard Périphérique and in the place d'Italie. The results from the semi-itinerant measurement campaigns show that PM_{2.5} concentrations during and outside confinement vary according to the density of road traffic and weather conditions. The latter justify certain overruns, during confinement. Indeed, in radiative weather, we recorded values exceeding the standard (WHO) up to 35 µg/m³ as in rue de Tolbiac, rue Château des Rentiers. On the other hand, in disturbed weather, the level drops by 5 µg/m³ on average and the frequency of obtaining concentrations above 20 µg/m³ was much lower.

Key words : COVID-19, Paris XIII, PM_{2.5} and NO₂, weather

Introduction

La pandémie du COVID-19 a provoqué des crises sanitaires et socio-économiques désastreuses à travers le monde (McKee et Stuckler, 2020). Depuis le 30 janvier 2020, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a déclaré la pandémie du COVID-19 comme une urgence sanitaire mondiale. Pendant cette pandémie, le trafic routier est devenu plus fluide d'où l'amélioration de la qualité de l'air (Keshtkar et al, 2021). La France, comme le monde entier, a été touchée par cette pandémie qui a impacté les déplacements des hommes et des bien notamment dans les grandes villes comme Paris. En effet, pendant la deuxième phase du confinement (en automne 2020), une adoption généralisée de politiques du travail à distance et des fermetures temporaires d'entreprises ont limité les déplacements habituels de la population. Ceci a provoqué des changements importants dans la qualité de l'air (Dutheil et al., 2020). Brunet et al (2020) confirment que des pics de pollution des particules fines ont été observés lors du premier confinement dépassant 65 µg/m³ pour les PM_{2.5} ayant comme origine le trafic routier et le chauffage en bois. Cette étude examine comment ces changements

soudains dans les modèles de circulation ont affecté les concentrations des polluants problématiques à Paris, à savoir, les $PM_{2.5}$ et NO_2 . Nous nous focalisons sur le XIIIème arrondissement, terrain d'une thèse en cours et nous tenons compte des types de temps. Pour cerner la variation spatiotemporelle des polluants précités, nous nous sommes basés sur des campagnes de mesures semi-itinérantes réalisées moyennant des stations portables « Aeroqual series 500 versions pro » pour couvrir 272 points de mesure du 03/11/2020 au 30/04/2021. Outre la couverture spatiale, à échelle fine, cette étude permettrait d'évaluer les concentrations de deux polluants atmosphériques qui ne sont pas enregistrés par la seule station de surveillance de la qualité de l'air du réseau AIRPARIF du XIIIème arrondissement. Les mesures sont réalisées par type de temps radiatif (stable) et perturbé.

1. Zone d'étude, méthodes et données

Au nord de la France, la région Île-de-France est source d'un dynamisme économique à l'échelle nationale, européenne et mondiale. Elle concentre la moitié des emplois de l'économie française (Camors et al., 2016). Suivant le dernier rapport de l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE, 2020), l'Île-de-France compte 12 213 447 habitants. La région concentre diverses activités industrielles et tertiaires avec un trafic routier dense en raison des multiples déplacements de la population et des marchandises qui y convergent, notamment vers Paris intra-muros. Selon le dernier recensement de l'INSEE (2016), la densité moyenne de la population, XIIIème arrondissement, atteint 25 392 hab/km² pour une superficie de 7,2 km². Sont plus denses, les quartiers anciens construits dans les années 70 ; comme Olympiade, place Nationale et place Pinel. Paris jouit d'un climat océanique de transition, la vitesse moyenne du vent ne dépassent pas 3m/s et des situations anticycloniques y sont probables durant toute l'année. La partie centrale enregistre des températures plus élevées et un ralentissement du vent par rapport à la périphérie rurale (Dahech et al., 2021). Nous avons réalisé des campagnes de mesures semi-itinérantes au XIIIème arrondissement de Paris pendant et en dehors du confinement automnal en 2020. Nous avons retenu 272 points de mesure, soit un enregistrement tous les 100m(fig.1). Les mesures mobiles ont été réalisées moyennant des stations portables « Aeroqual series 500 » par deux opérateurs. La collecte des données sur les rues a été divisée en deux sessions durant la journée : une première de 7h30 à 9h00 puis une deuxième de 17h00 à 19h00, donc pendant les deux pics du trafic routier, durant les jours ouvrables. En parallèle, nous mesurons le bruit induit par le trafic routier et la vitesse du vent. Chaque mesure dure 5 minutes par point, soit 20 enregistrements pour chaque polluant (à un pas de temps de 15 secondes). Quinze campagnes de mesures ont été réalisées du 03/11/2020 au 26/11/2020 pendant le confinement. En dehors du confinement, les mesures ont été réalisées au mois de juillet, septembre et octobre 2020 ainsi que durant janvier et février 2021. Les mesures ont été réalisées par temps stable (anticyclonique, faible nébulosité (<4octas), vent faible (<4m/s), et par temps perturbé dépressionnaire avec un ciel couvert (<7 octas), et un vent fort(>8m/s). Nous avons opté ensuite pour cartographier les points de mesure dépassant le percentile 75.

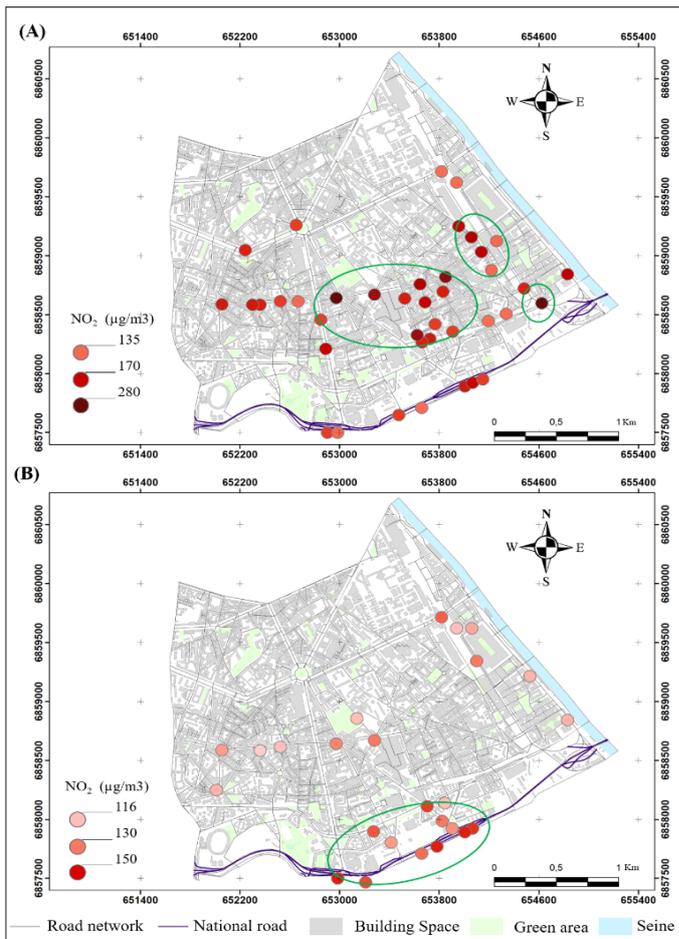


figure 2. La distribution des concentrations en NO_2 au XIIIème arrondissement en 2020 et 2021 pendant le confinement par temps stable(A) et temps perturbé (B) (Mesures par capteurs Aeroqual 500, nombre de campagnes 25 (Dahech et al, 2022).

2.2. Répartition des NO_2 en dehors du confinement par type de temps

Par un temps stable, deux clusters sont identifiés, un à l'ouest à l'avenue d'Italie et l'autre au sud le long du boulevard périphérique et Avenue de la porte d'Ivry. Ces clusters abritent des concentrations allant jusqu'à $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Entre le boulevard des Maréchaux et avenue de la Porte d'Ivry ainsi que dans la rue Tolbiac, les concentrations dépassent $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il s'agit presque des mêmes « points noirs » relevés pendant le confinement (fig.3). Les résultats issus des campagnes de mesures du NO_2 sont concordants avec ceux obtenus pour le bruit : ils confirment la corrélation entre le trafic routier et le niveau sonore d'une part et entre le premier et la pollution atmosphérique de l'autre. Potentiellement, à l'échelle de la zone d'étude, la pollution sonore diminue en s'éloignant des routes nationales comme le boulevard périphérique et les routes principales comme rue Tolbiac.

Par temps perturbé, la qualité de l'air s'améliore. Des concentrations allant de $113 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont enregistré. La figure 3 montre que par temps perturbé, deux clusters sont identifiés, un à l'est au croisement rue des Grand Moulin/avenue de France et l'autre au boulevard Vincent Auriol. Le boulevard périphérique, avenue de la porte d'Ivry et avenue de la porte d'Italie enregistrent les valeurs les plus élevées (fig. 3B).

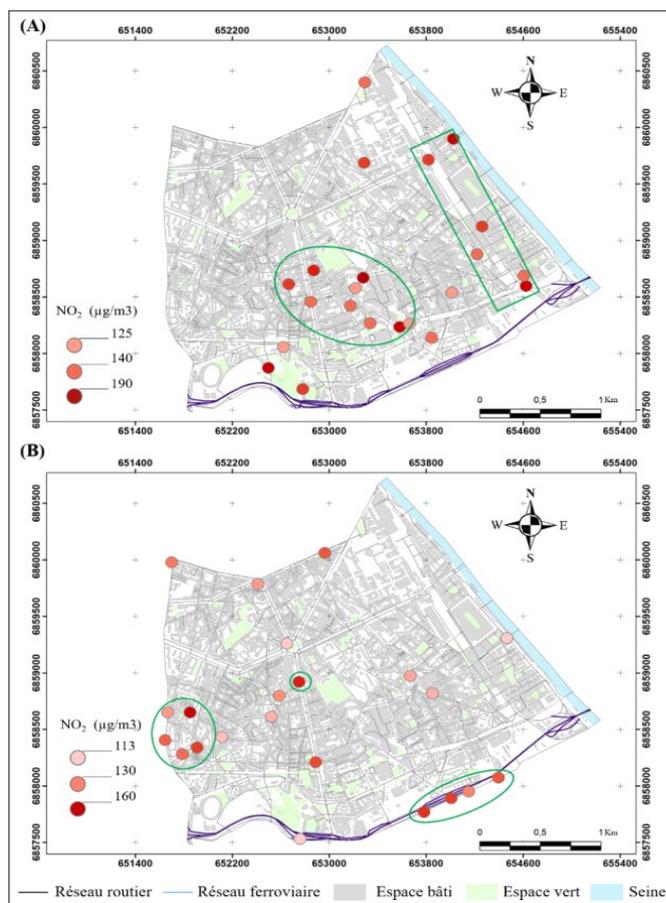


figure 3. Répartition des concentrations en NO₂ à XIIIème arrondissement en 2020 et 2021 en dehors du confinement (A) par temps stable, (B) par temps perturbé (Mesures par capteurs Aeroqual 500, 25 campagnes de mesures (Dahech et *al*, 2022).

3. Variabilité spatio-temporelle des concentrations journalières de PM_{2.5}

3. 1. Répartition des PM_{2.5} pendant le confinement par temps stable et perturbé

Pendant le confinement, le percentile 75 des concentrations en PM_{2.5} atteint 19 µg/m³ pour le temps stable (fig4.A) et 17 µg/m³ pour un temps perturbé (fig4.B). Néanmoins, des valeurs dépassant la norme OMS (fig.4) sont observées par les deux types de temps le matin comme en fin de journée.

Nous avons enregistré des valeurs plus élevées par temps stable avec deux clusters : l'un à l'est, entre la rue des Grands Moulins et l'avenue de France, et l'autre au milieu du XIIIème arrondissement, au niveau rue de Tolbiac, rue Château des Rentiers, rue de Patay. Ces clusters ont des concentrations allant jusqu'à 35 µg/m³. En effet, le long de l'Avenue de France et à la jonction de la Rue Tolbiac, des concentrations maximales ont été enregistrées près des bouches d'aération du métro et notamment à proximité des chantiers de constructions.

En revanche, lorsque le temps était perturbé, le percentile 75 a légèrement baissé. Les fortes concentrations variaient de 17 µg/m³ à 30 µg/m³. Elles sont réparties sur tout l'arrondissement. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées principalement au quai de Panhard et Levassor, au Boulevard du Générale d'Armé Jean Simon, à la jonction entre rue Tolbiac et Avenue de France (fig. 4B). La fréquence d'obtention de concentrations supérieures à 20 µg/m³ était largement plus faible par temps perturbé.

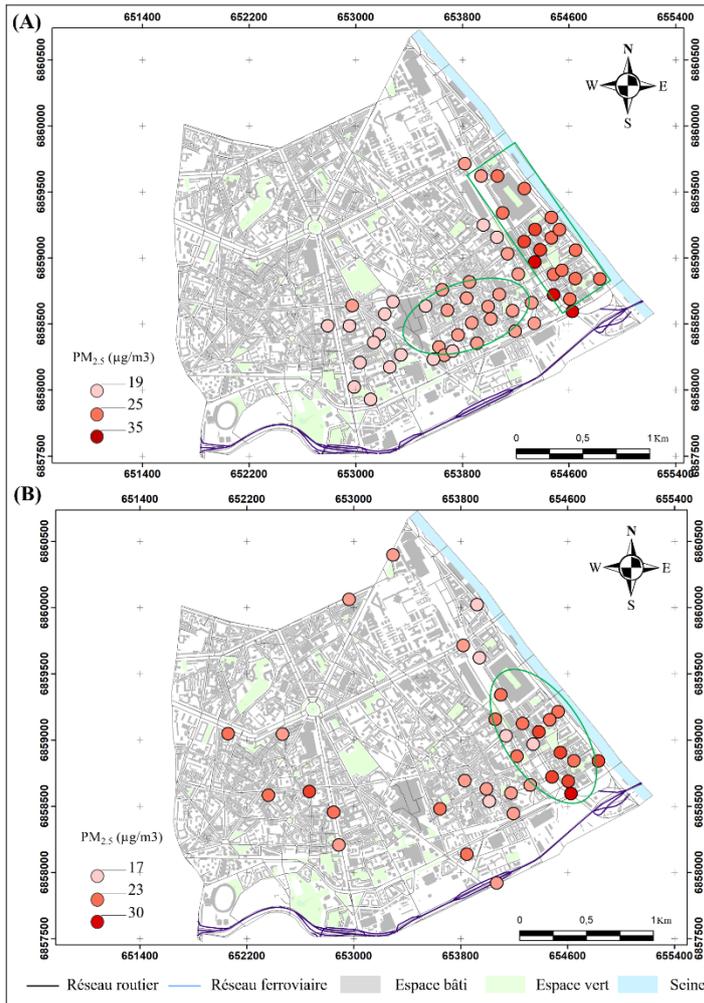


figure 4. Répartition des concentrations en PM_{2.5} au XIII^{ème} arrondissement en 2020 pendant le confinement (A) par temps stable, (B) par temps perturbé (Mesures par capteurs Aeroqual 500, 25 campagnes de mesures).

3. 2 Répartition des PM_{2.5} en dehors du confinement par temps stable et perturbé

Par rapport à la période de confinement détaillée ci-dessus, les données enregistrées étaient comparables, à l'exception des concentrations maximales atteintes par beau temps, qui passaient de 35 à 30 µg/m³ probablement parce que les conditions météorologiques étaient plus favorables à l'accumulation de particules et le temps a été plus froid, d'où un recours au chauffage plus important.

En dehors du confinement, le percentile 75 des concentrations en PM_{2.5} atteint 19 µg/m³ par temps stable (fig5.A) contre 13 µg/m³ par temps perturbé (fig5.B). Néanmoins, des valeurs dépassant les normes OMS (fig.4) sont observées par les deux types de temps. Par temps radiatif, les valeurs les plus élevées, allant de 25 à 30 µg/m³, ont été enregistrées à proximité des routes principales ou des artères congestionnées comme le Boulevard Périphérique, le Quai Panhard-et-Levassor et l'Avenue de la Porte d'Ivry. Nous avons également observé des concentrations relativement élevées, supérieures à 23 µg/m³, principalement au Quai d'Austerlitz, à l'Avenue d'Italie et entre la jonction boulevard Masséna et rue Patay (fig. 5.A) soit l'une des zones les plus denses.

Par temps instable, malgré un trafic routier comparable à celui en temps stable (environ 700 véhicules par tranche de 5 min), la situation a été principalement marquée par des concentrations allant de 25 µg/m³ à 28 µg/m³ le long de l'Avenue de France, sièges des chantiers de construction et au Quai Panhard et Levassor (fig5.B).

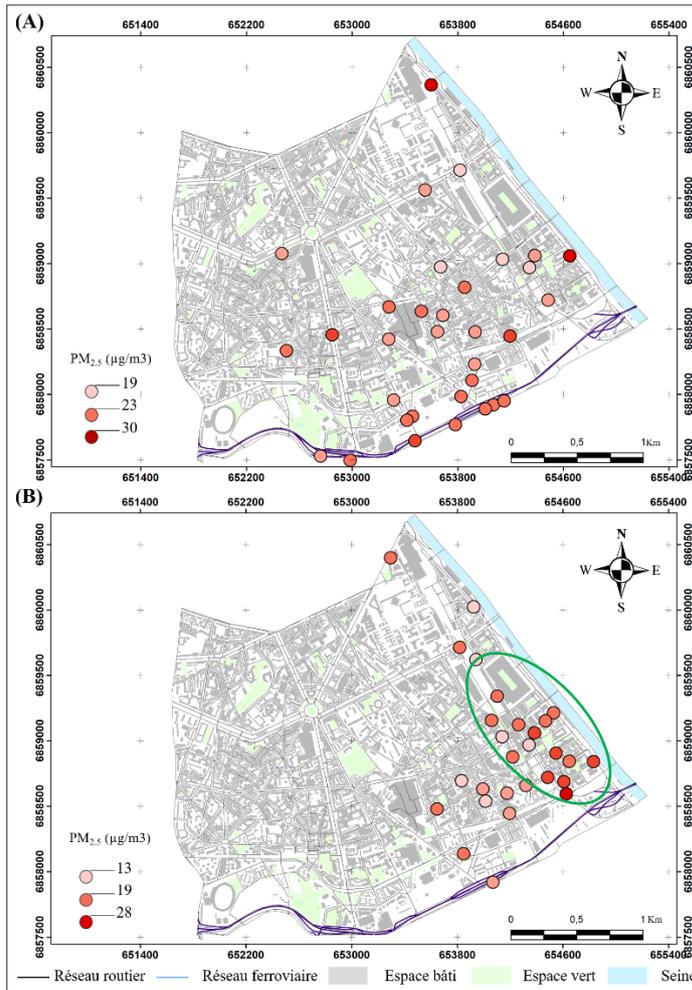


figure 5. Répartition des concentrations en $PM_{2.5}$ au XIII^{ème} arrondissement en 2020 pendant le confinement (A) par temps stable, (B) par temps perturbé (Mesures par capteurs Aeroqual 500, 25 campagnes de mesures).

Conclusion

L'étude de cas du XIII^{ème} arrondissement à Paris pendant le deuxième confinement est représentative de ce qui s'est passé à l'échelle de Paris, elle signale des valeurs de $PM_{2.5}$ et de NO_2 relativement élevées qui pourraient dépasser les valeurs recommandées par l'OMS. Nos mesures demeurent ponctuelles dans le temps et ne permettent pas de les comparer aux normes journalières de l'OMS. Nous avons conclu d'après les mesures de terrain que la probabilité d'avoir des fortes concentrations de NO_2 par temps stable est supérieure à celui perturbé en période de confinement. Des valeurs qui dépassent $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont enregistrées principalement dans trois endroits : la zone comprise entre rue Tolbiac et rue national, à rue de Chevaleret et au boulevard Périphérique. En dehors du confinement nous n'avons pas enregistré des valeurs supérieures aux norme OMS par temps perturbé. Durant le deuxième confinement nous avons enregistré pour les $PM_{2.5}$ des concentrations supérieures à $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par temps radiatif dans l'Avenue de France, près des chantiers de construction. Par Temps perturbé les concentrations des $PM_{2.5}$ baissent à l'exception de certains sites proches des bouches d'aérations des métros et des chantiers de constructions. Les valeurs dépassant le percentile 75 deviennent plus dispersées dans l'espace. En dehors du confinement le niveau de $PM_{2.5}$ n'a pas beaucoup changé. Toutefois de nouveaux clusters apparaissent au boulevard périphérique, avenue d'Italie et quai d'Austerlitz où le trafic routier devient plus congestionné.

Bibliographie

Brunet Y., Chevallier F., Colette A., Deniel C., Doussin J-F., Dubreuil V., Hanoune B., Lac C., Loubet B., Loustau D., Uzu G., Villenave E., 2020. *Effet du confinement du printemps 2020 sur la composition atmosphérique. Les outils de la recherche et l'expertise de la communauté scientifique au service du suivi des effets de la gestion de crise*. ALLEnvi Alliance Nationale de recherche pour l'environnement. <https://www.allenvi.fr/groupes-thematiques/atmosphere/actions>.

Camors C., Soulard O., Dezenaire F., Cyrille G., Renouvel S., Roger S., 2016. « *Économie numérique : 80 % des établissements franciliens en cœur d'agglomération* », Note rapide n° 710 ; « *Économie numérique : une dynamique d'emploi portée par les non-salariés* », Note rapide n° 711, IAU ÎdF, mars 2016.

Dahech, S. ; Abdmouleh , M.A. ; Lagmiri, S. Spatio temporal Variation of Air Quality (PM and NO₂) in Southern Paris during COVID-19 Lockdown Periods. *Atmosphere*, 2022, vol. 13, no 2, p. 289. <https://doi.org/10.3390/atmos13020289>.

Dahech, S.; Charfi, S.; Madelin, M. Représentativité des températures mesurées dans la station météorologique Paris Montsouris. *Climatologie* 2021, 17, 5. <https://doi.org/10.1051/climat/202017005>.

Dutheil, F., Baker, J.S., Navel, V. COVID-19 as a factor influencing air pollution. *Environ. Pollut.* 2020, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.1144662019-2021>.

INSEE. Population légale de l'île de France. In *Insee Flash Île-de-France* N° 45; Paris, France. 2020. Available online: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5002478> (accessed on 17 May 2021).

Keshtkar, M., Heidari, H., Moazzeni, N., Azadi, H. Analysis of changes in air pollution quality and impact of COVID-19 on environmental health in Iran: application of interpolation models and spatial autocorrelation. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-22. 1 December 2021h. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17955-9>.

McKee, M., Stuckler, D. If the world fails to protect the economy, COVID-19 will damage health not just now but also in the future. *Nat. Med.* 2020, 26, 640–648. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0863-y>.