

L'effet positif des mesures anti-COVID sur la qualité de l'air, en particulier sur le NO₂

Nouvelles méthodes d'estimation quantitative appliquées à la région Grand Est

*Kamill Dániel KOVÁCS, Ionel HAIDU**

La pandémie de SARS-CoV-2 (COVID-19) a démontré l'importance du problème de la pollution de l'air près de la surface. Les chercheurs ont établi un lien entre la pollution atmosphérique et l'infection causée par le COVID-19 (Zhu *et al.*, 2020). Cela indique que la pollution de l'air dans les régions densément peuplées de la planète devrait être mitigée à court terme. Dans cette perspective, il est essentiel de comprendre les facteurs socio-économiques sous-jacents à l'évolution de la pollution atmosphérique. Concernant la région Grand Est, ce rapport présente les principaux résultats d'une thèse de doctorat en cours au LOTERR, qui étudie l'effet des mesures de suppression du COVID-19 (anti-COVID-19) sur la qualité de l'air.

1 - Contexte global

En mars 2020, plusieurs pays européens ont adopté des mesures contre le COVID-19, telles que le confinement total ou partiel et/ou des restrictions de mobilité. Ces mesures ont limité les activités humaines intenses, ce qui a entraîné une amélioration globale de la qualité de l'air dans de nombreuses régions. La France a adopté trois confinements nationaux entre mars 2020 et avril 2021. Grâce au premier et plus grand confinement total (en vigueur entre le 17 mars 2020 et le 11 mai 2020), la France, comme d'autres pays européens, a enregistré des baisses historiques de la pollution de l'air. Dans ce contexte, il est crucial d'analyser comment d'autres facteurs socio-économiques influencent la réduction de la pollution de l'air.

Les données à haute résolution spatiale du satellite Sentinel-5P permettent de surveiller divers polluants atmosphériques (NO₂, HCHO, SO₂, O₃, CO, CH₄, aérosols). Pour les macro-régions telles que le Grand Est, l'imagerie satellitaire

TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) présente l'avantage majeur de fournir des données fiables et continues de haute qualité sur de vastes zones, permettant une analyse géographique complexe. Les tendances territoriales peuvent être identifiées à l'aide de données satellitaires sur la pollution atmosphérique en utilisant des techniques d'analyse géospatiale telles que la méthode SIG des points chauds ou l'Estimation de la Densité de Noyaux (EDN, méthode de Parzen-Rosenblatt). Cependant, les facteurs socio-économiques qui y contribuent doivent être estimés à l'aide de certains nouveaux indices spatiaux, que nous avons développés au cours de cette recherche.

2 - Effet des mesures anti-COVID-19 sur les polluants atmosphériques

En utilisant les données Sentinel-5P, l'ampleur du changement de la concentration de plusieurs polluants atmosphé-

* Kamill Dániel KOVÁCS, LOTERR, Université de Lorraine, Ionel HAIDU, LOTERR, Université de Lorraine

riques (NO₂, HCHO, SO₂, O₃, CO et l'indice d'aérosol IA) a été étudiée suite au premier confinement total en vigueur entre le 17 mars 2020 et le 11 mai 2020 dans dix zones urbaines d'établissements publics de coopération intercommunale (EPCI), situées dans la région Grand Est (Kovács & Haidu, 2021).

Les résultats ont montré que la qualité de l'air dans les environnements urbains du Grand Est s'est améliorée de manière significative par rapport à la même période en 2019. Le NO₂, l'O₃, l'IA et le CO sont les polluants qui ont présenté les plus fortes diminutions dans une moyenne zonale de -33,9%, -5,9%, -26,8% et -0,6%, respectivement (les diminutions maximales observées étaient de -54,7%, -7,7%, -34,6% et -5,3%, respectivement). Les baisses les plus importantes ont été observées dans l'Eurométropole de Strasbourg, la CA Colmar et la CA Mulhouse Alsace.

Un indice global de décontamination appelé **Indice de Dépollution Atmosphérique (IDA)** a été mis au point, faisant intervenir plusieurs paramètres de pollution atmosphérique, et la diminution des niveaux de pollution atmosphérique a fait l'objet d'une analyse quantitative (Fig. 1, Fig. 2). L'IDA est calculé en standardisant le changement absolu des polluants introduits dans le modèle.

Éq. 1

$$z = d * (\Delta x - m) / s$$

La standardisation produit un score (z), calculé comme le score de changement brut (Δx) moins la moyenne arithmétique des rasters (m), divisé par l'écart-type des rasters (s) et multiplié par un facteur d'étirement défini (d). L'IDA peut donc être défini comme la somme des changements absolus dans les rasters standardisés (Z).

Éq. 2

$$IDA = Z_{\Delta NO_2} + Z_{\Delta HCHO} + Z_{\Delta SO_2} + Z_{\Delta O_3} + Z_{\Delta CO} + Z_{\Delta IA}$$

La corrélation entre le nouvel IDA et les indices de population et de développement économique a été testée à l'aide de tests t. Il existait une corrélation négative statistiquement significative entre l'IDA et d'autres variables socio-économiques. Les modèles de régression indiquaient une forte dépendance de l'IDA (variable de réponse) par rapport à la densité de population (R² = 0,76), le produit intérieur brut (R² = 0,55), la valeur ajoutée brute aux prix de base (R² = 0,55), le nombre de salariés (R² = 0,57) et les entreprises actives (R² = 0,63) (variables explicatives).

3 - Développement de l'Indice de Déclin de la Pollution Atmosphérique d'Origine Humaine (IDPAOH)

La relation entre l'influence humaine territoriale et la réduction de la pollution atmosphérique par le NO₂ pendant un mois de confinement total du COVID-19 a été étudiée dans le Grand Est (Kovács, 2022). Les données NO₂ de la période de confinement et l'Indice d'Influence Humaine (IIH) ont été

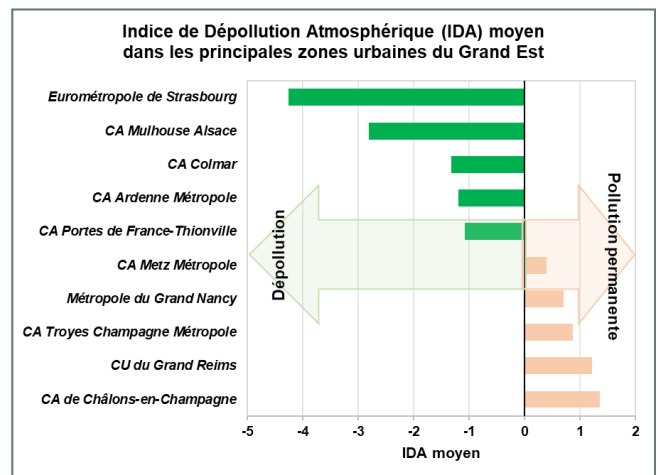


Figure 1 : Indice de Dépollution Atmosphérique (IDA) dans dix grandes agglomérations (EPCI) du Grand Est

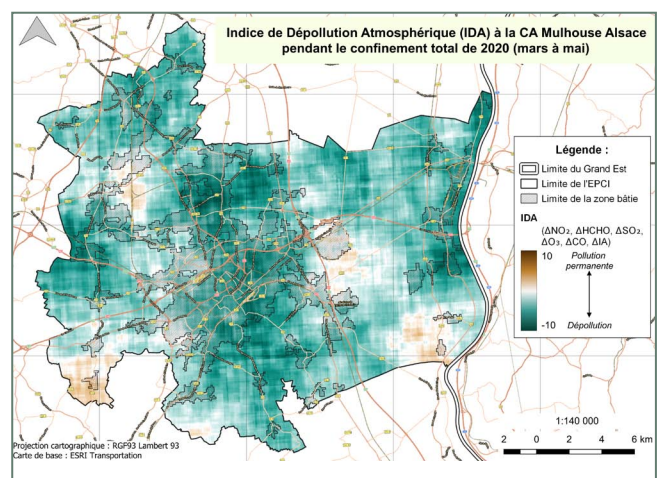


Figure 2 : Un exemple de l'IDA cartographié. L'aire urbaine de Mulhouse. Les autres cas sont disponibles à : <https://doi.org/10.5281/zenodo.7966122>

utilisés. Une analyse SIG des points chauds et des points froids a été réalisée pour examiner les changements statistiquement significatifs et cartographier les tendances territoriales divergentes du NO₂ (Fig. 3).

Dans la statistique locale de Getis-Ord Gi*, x_j est la valeur de l'attribut de l'entité spatiale, w est un poids entre les entités, n est le nombre total d'entités impliquées dans l'analyse, \bar{X} est la moyenne de l'échantillon et S est l'écart-type de l'échantillon :

Éq. 3

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}}; \bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}; S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

Le nouvel IDPAOH a été développé pour exprimer la réduction de la pollution induite par les activités anthropogéniques (Fig. 3).

Éq. 4

$$IDPAOH = \sqrt{IIH * y}$$

Dans ce modèle, l'IIH est une mesure territoriale de l'impact humain sur les terres, estimée à partir de plusieurs indicateurs anthropiques globaux dont : la pression démographique

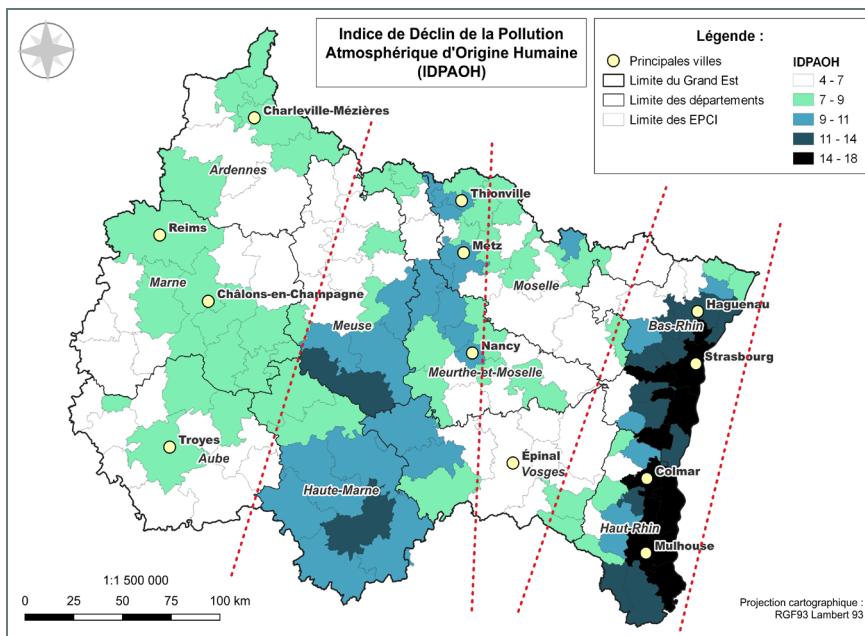
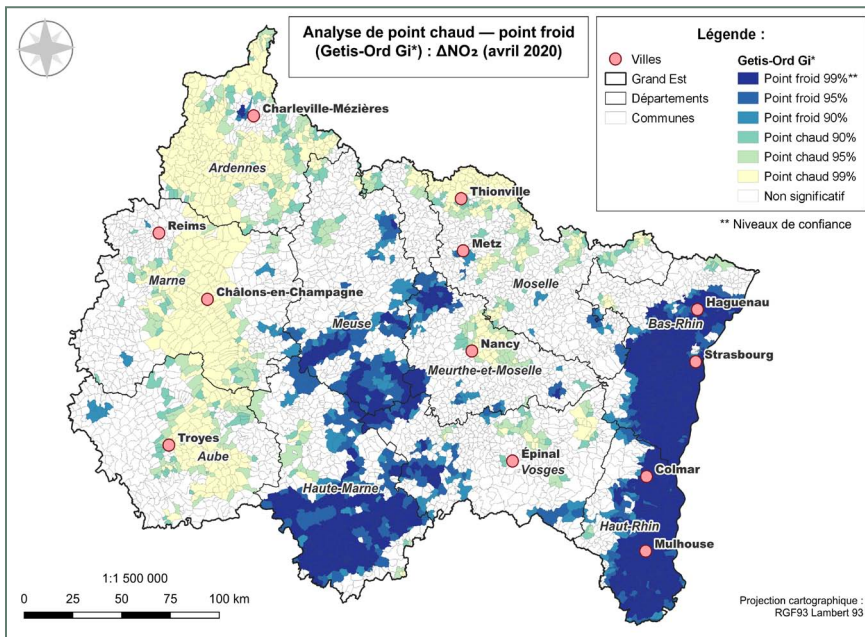


Figure 3 : Analyse spatiale du point chaud - point froid de la variation NO_2 troposphérique attribuée au confinement total (avril 2020) dans le Grand Est (en haut). Estimation de l'IDPAOH dans les EPCI (en bas).

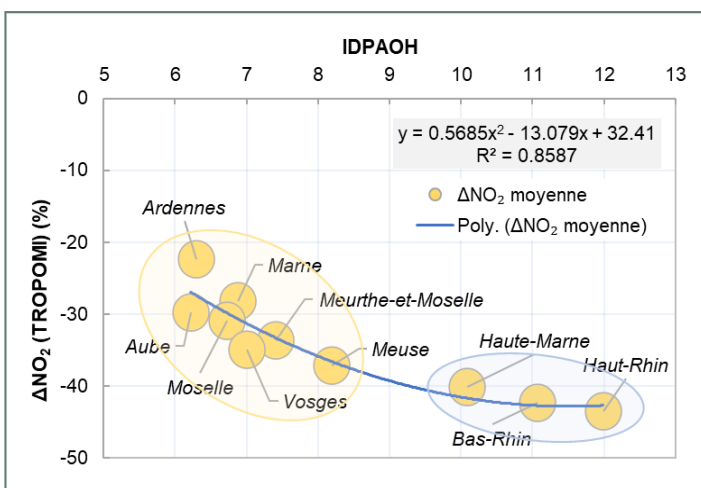


Figure 4 : Relation entre l'IDPAOH et la variation relative du NO_2 troposphérique (ΔNO_2) pendant avril 2020 dans les départements du Grand Est.

(densité de population), l'utilisation des terres et les infrastructures (zones bâties, éclairage nocturne, utilisation des terres/couverture des terres) et l'accessibilité (littoral, routes, voies ferrées, rivières navigables). Le y est obtenu en reclassant les niveaux de confiance des points chauds et froids et en leur attribuant des scores.

Un modèle de régression a indiqué la forte dépendance de la baisse du NO_2 par rapport à l'IIH lors des mesures de confinement en avril 2020 ($R^2 = 0,91$). Le nouvel IDPAOH a montré le degré d'impact anthropogénique sur la diminution du NO_2 . L'IDPAOH s'est avéré être une mesure fiable pour modéliser la dépendance des variations de la pollution atmosphérique à l'égard de l'influence humaine ($R^2 = 0,85$) (Fig. 4).

Ces résultats permettent de conclure que l'influence anthropique est un facteur déterminant dans le phénomène de réduction du NO_2 près de la surface. Pour les études futures concernant d'autres gaz polluants, l'application d'IDPAOH pourrait constituer une nouvelle approche pour quantifier l'influence anthropique régionale sur la pollution de l'air.

4 - Impact des infrastructures de transport sur la concentration de NO_2

L'effet des infrastructures de transport sur la réduction de la pollution atmosphérique par le NO_2 a été étudié durant trois confinements induits par le COVID-19 dans le Grand Est (un confinement total et deux confinements partiels) (Kovács & Haidu, 2022). Le changement relatif de la pollution troposphérique par le NO_2 pendant les trois confinements a été calculé à l'aide des données du satellite Sentinel-5P. L'Intensité de l'Infrastructure de Transport et de Circulation (IITC) a été quantifiée en estimant sa densité du noyau (EDN) (Fig. 5a, disponible à : <https://zenodo.org/record/8020565>).

$$EDN\ IITC = \frac{1}{(radius)^2} \sum_{i=1}^n \left[\frac{3}{\pi} * pop_i \left(1 - \left(\frac{dist_i}{radius} \right)^2 \right)^2 \right] \quad \text{Éq. 5}$$

Dans cette équation, $dist_i < radius$ où $i = 1, \dots, n$ sont les points saisis, pop_i est la valeur de poids, et $dist_i$ est la distance entre le point i et le nouvel emplacement (x, y) .

Une analyse SIG des points chauds et froids sur la variation relative de la pollution atmosphérique par le NO_2 a permis d'identifier des groupes spatiaux significatifs de diminution.

Un nouvel indice spatial, l'Indice de Regroupement (IR), a été développé sur la base des grappes, en utilisant sa variante, l'Indice de Regroupement des Points Froids (IRPF).

$$IR(IRPF; IRPC) = TR^2 a = \left(\frac{S_f}{T_f} \right)^2 a \quad \text{Éq. 6}$$

Dans cette équation, IR est l'indice de regroupement qui a deux variantes : l'indice de regroupement des points froids (IRPF), et l'indice de regroupement des points chauds (IRPC), TR est le taux de regroupement, S_f est le nombre d'entités spatiales de base regroupées dans une unité administrative supérieure, T_f est le nombre total d'entités dans une unité administrative supérieure, et a est la superficie moyenne (en km^2) des entités regroupées (ici les communes des points froids).

Avec l'IRPF comme facteur de pondération, l'EDNP IITC (EDN pondéré pour l'IITC) dans les départements a été calculé.

$$EDNP\ IITC = \frac{(EDN\ IITC * IR)}{\sum IR} \quad \text{Éq. 7}$$

Dans ce modèle de régression, l'IRPF est la variable de réponse et l'IITC est l'explicative.

L'analyse a révélé que, dans la région, pendant les trois périodes de confinement, la baisse zonale du NO_2 dépendait significativement de l'infrastructure de transport ($R^2 = 0,808$) (Fig. 5b, disponible à : <https://zenodo.org/record/8020565>).

Les résultats ont montré que la plus forte diminution de NO_2 se produisait lors du premier confinement, et le modèle de régression a indiqué une dépendance à l'égard de l'infrastructure de transport ($R^2 = 0,818$). Les prédicteurs économiques et démographiques ont également expliqué la diminution du NO_2 pendant le premier confinement avec une bonne adéquation : PIB ($R^2 = 0,511$), employés ($R^2 = 0,513$) et densité de population ($R^2 = 0,837$).

Ces résultats indiquent que dans le Grand Est, ce ne sont pas seulement les variables économiques et démographiques qui déterminent la réduction de la pollution de l'air, mais aussi les infrastructures de transport.

5 - Validation et pertinence des résultats

Pour garantir la précision et la fiabilité des résultats quantitatifs, les analyses spatiales basées sur des données satellitaires doivent être étayées par des mesures in situ au niveau du sol. Conformément aux observations satellitaires, l'analyse de corrélation et de régression entre les variations de NO_2 mesurées par 38 stations de surveillance in situ et le ΔNO_2 mesuré par les données satellitaires a révélé qu'il existait une liaison directe et statistiquement significative entre les données au sol et les données TROPOMI télédéteectées ($R^2 = 0,73$) pendant la régulation anti-COVID-19.

Les résultats obtenus jusqu'à présent montrent que les mesures anti-COVID-19 ont eu un effet positif sur l'amélioration de la qualité de l'air, en particulier sur le NO_2 . Toutefois, il a également été démontré que le degré d'influence anthropique et l'infrastructure régionale de transport et de circulation jouent un rôle décisif dans le processus de décontamination.

Bibliographie

Kovács, K. D. (2022). Determination of the human impact on the drop in NO_2 air pollution due to total COVID-19 lockdown using Human-Influenced Air Pollution Decrease Index (HIAPDI). *Environmental Pollution*, 306, 119441.20 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119441>

Kovács, K. D., & Haidu, I. (2021). Effect of Anti-COVID-19 Measures on Atmospheric Pollutants Correlated with the Economies of Medium-sized Cities in 10 Urban Areas of Grand Est Region, France. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103173. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103173>

Kovács, K. D., & Haidu, I. (2022). Tracing out the effect of transportation infrastructure on NO_2 concentration levels with Kernel Density Estimation by investigating successive COVID-19-induced lockdowns. *Environmental Pollution*, 309, 119719. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119719>

Zhu, Y., Xie, J., Huang, F., & Cao, L. (2020). Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *Science of the Total Environment*, 727, 138704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>