

Influence des paramètres climatiques sur l'incidence de la COVID-19 de mars 2020 à décembre 2022 dans la région de Niamey au Niger

Emoud Tcholi Idrissa

Service de surveillance épidémiologique et recherche, Hôpital Général de Référence, Niger/ Laboratoire de microbiologie tropicale, Université Abdou Moumouni, Niger

Ismaguil Hannadé Houma

Aix Marseille, Université Côte d'Azur, Avignon Université, CNRS, ESPACE, Avignon, France / Hassan II Institute of Agronomy and Veterinary, Department of Geodesy and Topography, Geomatics Science and Engineering, Rabat, Morocco

Alkassoum Salifou Ibrahim

Faculté des Sciences de la Santé, Université Abdou Moumouni, Niger

Alassane Halawen Mohamed

Laboratoire de Microbiologie de l'Hôpital Général de Référence

Ibrahim Maman Laminou

Centre de Recherche Médicale et Sanitaire, Niger

Adehossi Eric Omar

Faculté des Sciences de la Santé, Université Abdou Moumouni, Niger

Doi: [10.19044/esipreprint.5.2024.p69](https://doi.org/10.19044/esipreprint.5.2024.p69)

Approved: 05 May 2024

Posted: 10 May 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Emoud T.I., Ismaguil H.H., Alkassoum S.I., Alassane H.M. Ibrahim M.L. & Adehossi E.O. (2024). *Influence des paramètres climatiques sur l'incidence de la COVID-19 de mars 2020 à décembre 2022 dans la région de Niamey au Niger*. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.5.2024.p69>

Résumé

Introduction : La maladie à coronavirus 2019 (COVID-19) est une maladie infectieuse due au nouveau coronavirus. Son émergence est un enjeu de santé publique mondial. Le rôle des facteurs climatiques dans sa transmission n'est pas déterminé avec précision. **Objectif :** Cette étude analyse la corrélation entre les paramètres climatiques (température, humidité relative, durée d'ensoleillement, vitesse du vent) et la dynamique

de la COVID-19. **Méthodologie** : C'est une étude rétrospective, analytique, utilisant les données épidémiologiques de la COVID 19 (nombre quotidien de cas confirmés et des décès) de mars 2020 à décembre 2022. Ils ont été recueillis à la Direction de la Surveillance et la Riposte aux Epidémies (DSRE). Les données climatiques ont été recueillies à la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). La méthode statistique utilisée est le coefficient de corrélation "r" entre les variables climatiques et morbi-mortalité de la COVID-19. **Résultats** : L'analyse uni variée montre que le nombre de cas le plus élevé était observé en septembre. L'humidité relative minimale la plus élevée fut observée en août. L'analyse multivariée révèle une corrélation forte et positive entre la vitesse moyenne du vent et la morbidité ($r=0,14$). La vitesse maximale du vent ($r=0,13$), la vitesse minimale du vent ($r=0,15$) influencent la survenue des nouveaux cas de la COVID-19. **Conclusion** : L'humidité relative a impact sur la morbi-mortalité, par opposition à la température. Le plus grand nombre des cas intervient en novembre, décembre et janvier, les mois durant lesquelles les températures sont plus basses. Ces informations sont utiles pour planifier et soutenir la lutte contre la COVID-19.

Mots-clés : COVID-19 ; Niamey ; Paramètres climatiques ; Transmissibilité

Influence of Climatic Parameters on the Incidence of COVID-19 from March 2020 to December 2022 in the Niamey Region, Niger

Emoud Tcholi Idrissa

Service de surveillance épidémiologique et recherche, Hôpital Général de Référence, Niger/ Laboratoire de microbiologie tropicale, Université Abdou Moumouni, Niger

Ismaguil Hannadé Houma

Aix Marseille, Université Côte d'Azur, Avignon Université, CNRS, ESPACE, Avignon, France / Hassan II Institute of Agronomy and Veterinary, Department of Geodesy and Topography, Geomatics Science and Engineering, Rabat, Morocco

Alkassoum Salifou Ibrahim

Faculté des Sciences de la Santé, Université Abdou Moumouni, Niger

Alassane Halawen Mohamed

Laboratoire de Microbiologie de l'Hôpital Général de Référence

Ibrahim Maman Laminou

Centre de Recherche Médicale et Sanitaire, Niger

Adehossi Eric Omar

Faculté des Sciences de la Santé, Université Abdou Moumouni, Niger

Abstract

Introduction: Coronavirus 2019 (COVID-19) is an infectious disease caused by a new coronavirus. Its emergence is a global public health issue. The role of climatic factors in its transmission is not precisely determined. **Objective:** This study analyzes the correlation between climatic parameters (temperature, relative humidity, sunshine duration, wind speed) and the dynamics of COVID-19. **Methodology:** This is a retrospective, analytical study using COVID 19 epidemiological data (daily number of confirmed cases and deaths) from March 2020 to December 2022. They were collected at the Direction de la Surveillance et la Riposte aux Epidémies (DSRE). Climatic data were collected from the Direction de la Météorologie Nationale (DMN). The statistical method used was the "r" correlation coefficient between the COVID-19 climate and morbidity-mortality variables. **Results:** Univariate analysis shows that the highest number of cases occurred in September. Minimum relative humidity was highest in August. Multivariate analysis revealed a strong, positive correlation between mean wind speed and morbidity ($r= 0.14$). Maximum wind speed ($r= 0.13$) and minimum wind speed ($r= 0.15$) influenced the occurrence of new cases

of COVID-19. **Conclusion:** Relative humidity has an impact on morbidity and mortality, as opposed to temperature. The greatest number of cases occurs in November, December and January, the months when temperatures are lowest. This information is useful for planning and supporting the fight against COVID-19.

Keywords: COVID-19; Niamey; Climatic parameters; Transmissibility

Introduction

Le monde entier connaît désormais cette ville du nom de Wuhan qui est la capitale de la province d’Hubei, en Chine, point de départ de la pandémie de la COVID-19 (COroNaVirus Disease 2019). Le 31 décembre 2019, la commission sanitaire municipale de Wuhan signale officiellement la présence d’un groupe de cas de pneumonie dans la ville (Hardy & Flori, 2021).

La nouvelle infection liée au syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS-CoV-2) a été reconnue pour la première fois à la fin de l’année 2019 et a provoqué l’une des plus graves crises de santé publique mondiales (dizaines de millions d’infections et des millions de décès) de ces dernières années touchant pratiquement tous les pays (Paraskevis et al., 2021).

Depuis toujours et dans tous les pays du monde, les maladies infectieuses ont constitué l’une des premières causes de morbidité et de mortalité surtout dans les pays en développement (Dye, 2014). Les maladies respiratoires particulièrement la COVID-19 constituent un problème majeur de santé publique dans le monde vu le nombre des cas et décès enregistrés dus à cette dernière (Dieng et al., 2020). La COVID-19 a entraîné des mesures de quarantaine dans plusieurs pays du monde. Ces mesures se sont avérées efficaces pour réduire considérablement la prévalence du virus car à ce jour, aucun traitement n’est disponible. (Faranda & Alberti, 2020). La transmissibilité élevée du SRAS-CoV-2 avant et peu après l’apparition des symptômes suggère que seuls le diagnostic et l’isolement des patients symptomatiques ne sont pas suffisants pour interrompre la propagation de l’infection. Par conséquent, des mesures de santé publique telles que la distanciation physique, le port du masque, le lavage des mains sont également nécessaires. De plus, il est important de détecter les personnes nouvellement infectées qui restent asymptomatiques, ce qui peut représenter 50% ou plus des cas (Candel et al., 2020).

Depuis que le premier cas confirmé de la COVID-19 a été signalé en Égypte le 14 février 2020, l’Afrique, qui compte plus d’un milliard d’habitants, suit les cas de la COVID-19 (A. Islam, Sayeed, et al., 2021). En Afrique subsaharienne, le premier cas a été signalé au Nigéria le 8 février 27 chez un patient italien qui s’était rendu au Nigéria par avion depuis l’Italie le

25 février 2020. Depuis lors, le continent a enregistré une augmentation du nombre de cas. Un mois après au 23 mars 2020, il y avait 4 116 cas confirmés de la COVID-102 dans 19 pays africains (CDC, 2020). Au total, 9 110 décès ont été signalés en Afrique, bien que 163 5 599 vaccinations aient été distribuées et que 955 3 690 personnes se soient complètement rétablies (Mutombo et al., 2022).

La COVID-19 s'est propagée dans la plupart des pays du monde en raison de son taux de transmission extrêmement élevé de 2 à 2,5 (*who-china-joint-mission-on-COVID-19-final-report.pdf*, s. d.). Selon les statistiques officielles, la Chine, source de la pandémie, a notifié 93,99% des cas avec guérison, 5,54% avec décès (trois cas pour un million), et seulement 0,47% des cas étaient encore actifs. Alors que les États-Unis d'Amérique sont en tête de liste des pays les plus touchés par la COVID-19, avec un nombre de cas d'environ 3 097 417, représentant 25,89% des cas mondiaux, dont 51,93% étaient encore actifs. En outre, le nombre de cas combinés de COVID-19 aux États-Unis, au Brésil, en Inde et en Russie représentaient 51,96% des cas mondiaux de la (*COVID - Statistiques Coronavirus - Worldometer*, s. d.). Plusieurs études indiquent que la transmission de la COVID-19 est affectée par la température. A travers des études réalisées, une corrélation inverse a été trouvée entre la température et le nombre quotidien d'infections (Abdollahi & Rahbaralam, 2020) (Wan et al., 2020). Par exemple, la transmission du virus est entravée par une humidité spécifique supérieure à 6 g/kg et une température moyenne de l'air supérieure à 11 °C (Corripio & Raso, 2020). La COVID-19 peut être saisonnière avec une plage de température optimale de 5 à 14°C et un pic de 10°C (D. Liu et al., 2020).

Jusqu'à présent, peu d'études ont pris en compte simultanément les variables météorologiques, les facteurs démographiques et les mesures de réponse politique pour étudier leurs effets conjoints dans le développement de l'épidémie de la COVID-19. De plus, la plupart des études mondiales étaient fondées sur les données nationales (Chung et al., 2021), tandis que les études à l'échelle des villes ou des régions sont limitées (Lyu et al., 2023). Une association entre la mobilité de la population et la COVID-19 a été établie dans plusieurs régions du monde. Certaines de ces études affirment que les basses températures, la plage de température journalière douce et la faible humidité contribuent probablement à la transmission de la maladie. De plus, il a été établi que les aérosols accumulant des virus se transmettent facilement entre les individus (Yao et al., 2020) (Wang et al., 2020) (Sehra et al., 2020). Les paramètres météorologiques montrent une forte influence sur la transmission des maladies dans les localités urbaines (Hariharan, 2021).

Dans ce contexte, une compréhension approfondie des facteurs sous-jacents qui influencent la propagation du virus est d'une importance cruciale

pour les décideurs, les professionnels de la santé et la population en général. Outre, les analyses des statistiques descriptives, l'une des approches les plus prometteuses pour analyser cette relation complexe est l'utilisation de modèles de machine learning avancés, tels que l'algorithme Random Forest (A. Islam, Pakrashi, et al., 2021). Ces modèles offrent la capacité de prendre en compte une multitude de variables météorologiques simultanément, de détecter des interrelations non linéaires et d'identifier les facteurs météorologiques les plus influents (Y. Liu et al., 2022). Dans cette étude, nous mettons en avant l'intérêt fondamental de l'application de ces modèles de machine learning pour évaluer de manière précise et approfondie la relation entre les conditions météorologiques locales et le nombre de cas de la COVID-19 à Niamey en sus des analyses corrélatives. En utilisant cette démarche, nous visons à contribuer à une meilleure compréhension des mécanismes sous-jacents de la transmission du virus dans un contexte météorologique tropicale sahélienne, ce qui peut aider à orienter les stratégies de prévention et de gestion de la pandémie dans la région.

Matériel et méthodes :

1. Site et population d'étude : Cette étude s'est déroulée à Niamey, située au Sud-ouest du Niger. Elle est enclavée dans la région de Tillabéry. Niamey se situe entre la latitude 13°35' et 13°24' Sud et la longitude 2°15' Est. Son altitude est comprise entre 160 m et 250 m et ses limites administratives s'étendent sur 552,27 km² dont environ 185 km² de superficie urbanisée.

La population totale est estimée à 1 449 801 habitants en 2023 (projection RGPH 2012) avec une densité moyenne de 2 625 habitants au km².

Le climat est essentiellement continental avec quatre saisons :

- De Juin à Septembre : Une saison de pluie caractérisée par des pluies orageuses et une assez forte humidité et une température moyenne de 33°C.
- D'Octobre à mi-Novembre : Une saison chaude sans pluies, relativement humide avec une température moyenne de 35 °C.
- De fin Novembre à fin Février : Une saison relativement froide et sèche avec des températures pouvant descendre jusqu'à 15 °C.
- De Mars à Mai : Une saison très chaude caractérisée par des vents chauds et brulants avec des températures pouvant atteindre 47 °C à l'ombre.

Le climat chaud et sec qui s'étend d'octobre à mai est favorable à l'éclosion des épidémies notamment celles de méningite, de rougeole et de

choléra avec des conséquences économiques, sociales, et culturelles défavorables.

Le système de santé est organisé en 3 niveaux, calqué sur le découpage administratif du pays selon le scénario de développement sanitaire en trois phases : le niveau central chargé de la définition des axes stratégiques, le niveau intermédiaire, responsable de l'appui technique aux districts sanitaires et le niveau périphérique correspondant au niveau opérationnel composé de 5 districts sanitaires.

Il s'agit de patients venant en consultation pour une symptomatologie évoquant la COVID-19 au niveau de cinq districts sanitaires de la région.

- 2. Données et sources :** Il s'agit d'une étude descriptive à visée analytique sur des séries temporelles avec un recueil des données afin de relier les paramètres climatiques à la morbi-mortalité de la COVID-19 dans la région de Niamey au Niger. L'étude s'étend sur une période de 33 mois, allant de mars 2020 à décembre 2022. Les données sanitaires collectées sont les cas et les décès dus à la COVID-19. L'échantillonnage est exhaustif. Elles ont été téléchargées à partir de la base de données Excel de la Direction de la Surveillance et de Riposte aux Epidémies. Les données météorologiques collectées sont : la pluviométrie, l'humidité relative maximale et minimale, la température maximale et minimale au niveau de la Direction Météorologie Nationale (DMN) au cours de la même période. Les données météorologiques journalières de la station de Niamey sur la période de mars 2020 à décembre 2022 ont été collectées au niveau de la direction de la météorologie nationale. Le logiciel Excel a été utilisé pour organiser les données en vue de leur exportation avec le logiciel Instat.
- 3. Analyse statistique :** Le logiciel Epi Info version 7.2 a permis l'analyse des données sanitaires et le logiciel Instat a été utilisé pour analyser les données météorologiques. L'analyse statistique a permis la description des variables étudiées en utilisant les paramètres statistiques de position (moyenne, somme). Le coefficient de corrélation "r" a été utilisé comme test statistique. Une corrélation est forte et positive si r est proche de +1. La corrélation est négative et forte si r est proche de -1.
- 4. Visualisation des analyses des corrélations :** La library (corrplot) a été utilisée pour la visualisation des corrélogrammes de la relation entre le nombre des cas et les facteurs météorologiques. La même analyse a été effectuée pour la visualisation des relations corrélatives entre le nombre de décès et les facteurs météorologiques. L'utilisation de la bibliothèque corrplot pour la visualisation des corrélations permet de mieux

comprendre les relations entre les différentes variables météorologiques et le nombre de cas de la COVID-19. Cette bibliothèque, intégrée à l'environnement R, nous a permis de créer des graphiques de corrélation clairs et informatifs, mettant en évidence les interrelations entre les facteurs météorologiques et l'incidence de la maladie. Les résultats générés à l'aide de corrplot ont été essentiels pour explorer visuellement les relations entre les variables. Le niveau de corrélation et la direction des corrélations ont été utilisées pour identifier les facteurs météorologiques qui pourraient avoir une influence significative sur la propagation du COVID-19 à Niamey. Ces analyses préliminaires ont guidé le choix de la sélection des variables à inclure dans notre modèle Random Forest et nous ont aidés à établir des hypothèses préliminaires sur les mécanismes sous-jacents les interrelations de causalité et/ou de concomitances des facteurs météorologiques l'occurrence des nombres de cas de la COVID-19.

- 5. Apprentissage automatique :** Dans cette étude, visant à établir la relation de causalité et/ou de concomitance des facteurs météorologiques sur l'occurrence des incidences de cas de la COVID-19 à Niamey, outre les analyses statistiques descriptives, nous avons opté pour l'utilisation de modèle de machine Learning Random Forest. Cet algorithme d'apprentissage automatique est largement reconnu pour sa capacité à modéliser des relations complexes non linéaires entre des variables indépendantes et une variable cible dans de nombreuses domaines impliquant les causalités multifactorielles et/ou de concomitances (Talbot et al., 2021) . Il classe les variables explicatives en fonction de leur relation avec la variable à expliquer en créant plusieurs arbres de décision puis combine la sortie générée par chacun des arbres de décision. Dans notre cas d'étude, l'objectif principal de cette partie méthodologie est de développer un modèle prédictif robuste capable de quantifier l'influence des facteurs météorologiques sur l'occurrence du nombre de cas de la COVID-19 et le nombre de décès. Pour se faire, le nombre de cas de la COVID-19 et le nombre de décès ont été considérées comme les variables cibles (Target variable) et dix caractéristiques météorologiques ont été considérées comme des facteurs prédicteurs potentiels. Le modèle d'apprentissage automatique semi-supervisé basé uniquement sur l'utilisation de données quantitatives a été implémenté dans l'environnement R en utilisant la librairie Classification And Regression Training (CARET) pour l'entraînement du modèle. Le package R CARET est une bibliothèque R pour l'apprentissage automatique. Elle contient plusieurs algorithmes d'apprentissage automatique en R et un ensemble de fonction qui rationalisent

automatiquement le processus de création de modèles d'apprentissage automatique. Les modèles d'apprentissage automatique semi-supervisés dans R utilisent uniquement un tableau de données d'entrée quantitatives et n'impliquent pas forcément l'utilisation de données étiquetées ou la séparation des données en échantillons d'apprentissage, d'étalonnage et de validation. Ainsi, l'algorithme Random a été utilisé dans cette étude uniquement pour évaluer l'importance relative des variables météorologiques sur les incidences du nombre des cas de la COVID-19 et le nombre de décès associé.

Résultats

1. Distribution de la morbidité et de la mortalité de la COVID-19 entre 2020 et 2021

Au Niger, le diagnostic de la COVID-19 repose sur la détection de séquences uniques de l'acide ribonucléique du virus SARS-COV-2 par réaction en chaîne par polymérase à transcription inverse (RT-PCR) en temps réel.

Cette étude comprend des données de mars à fin décembre 2022. La figure 1 présente les nouveaux cas et les nouveaux décès notifiés par jour durant la période l'étude. Nous constatons un pic allant jusqu'à 84 cas notifiés par jour en décembre 2020. Le plus grand nombre des cas est notifié durant le quatrième trimestre durant les deux années de l'étude comme l'indique la figure 2. Pour rappel ce trimestre correspond à la saison froide au Niger. A la figure 3 nous avons présenté l'évolution mensuelle du nombre des cas durant les deux années et les résultats indiquent que durant les mois de novembre, décembre et janvier le plus grand nombre des cas est enregistré.

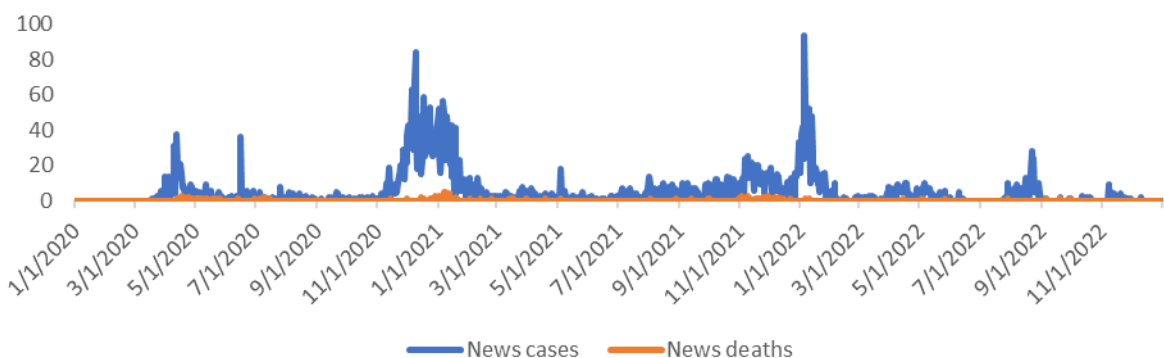


Figure 1 : Evolution des cas et décès dus à la COVID-19 à Niamey de 2020 à 2022

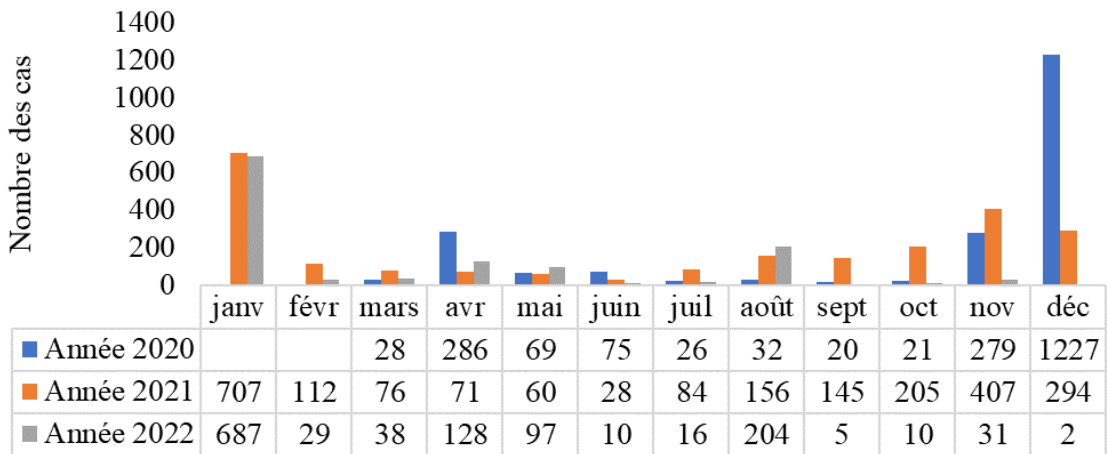


Figure 2 : Nombre des cas de la COVID-19 enregistrés par mois de 2020 à 2022 à Niamey

2. Variation des paramètres climatiques

Les résultats de la corrélation entre les paramètres météorologiques et les nouveaux cas et les nouveaux décès causés par la COVID-19 sont présentés à la figure 3 et la figure 4. La vitesse du vent à une corrélation positive sur les nouveaux décès de la COVID-19.

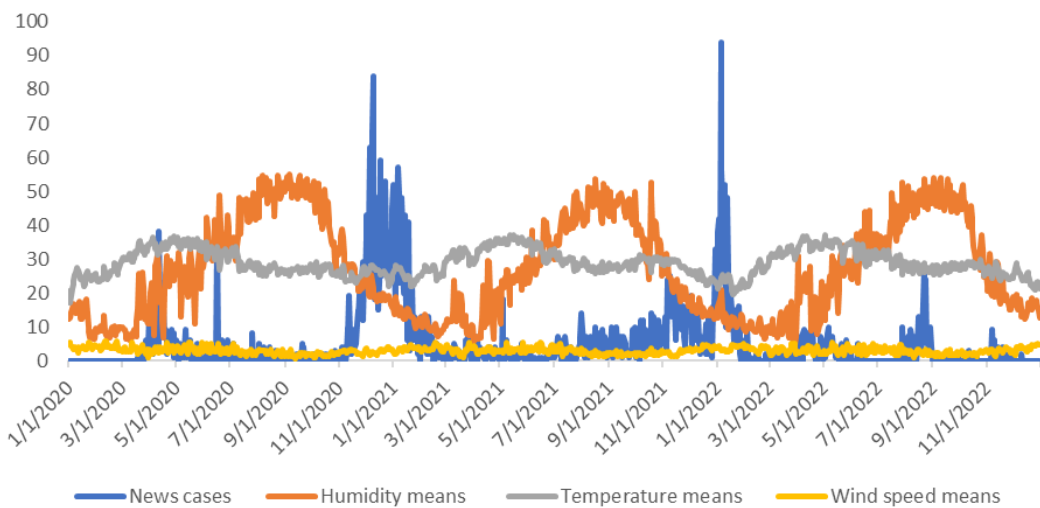


Figure 3: Relation entre le nombre des nouveaux cas et les paramètres climatiques (humidité moyenne en marron ; température moyenne en gris et la vitesse du vent en jaune)

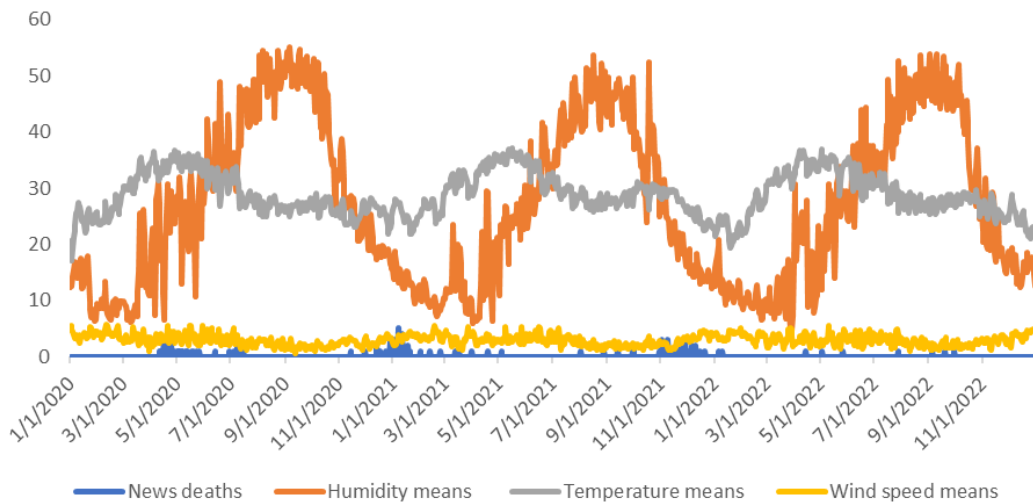


Figure 4: Relation entre le nombre des nouveaux décès et les paramètres climatiques (humidité moyenne en marron ; température moyenne en gris et la vitesse du vent en jaune)

3. Relation entre les variables climatiques et la morbi-mortalité de la COVID-19

La relation entre les cas et les décès de la COVID-19 sont présentés dans le tableau I et le tableau II. La vitesse maximale, la vitesse minimale du vent et la vitesse moyenne du vent ont une corrélation positive sur les cas et les décès de COVID-19.

Tableau I : Relation entre variables climatiques et le nombre des nouveaux cas de la COVID-19

Relation entre variables climatiques et les cas de la COVID-19	Coefficient R
Humidité spécifique	-0,47
Humidité relative	-0,35
Humidité moyenne	-0,37
Précipitation	-0,26
Température maximale	-0,13
Température minimale	-0,61
Température moyenne	-0,44
Vitesse maximale du vent	0,13
Vitesse minimale du vent	0,15
Vitesse moyenne du vent	0,14

Tableau II : Relation entre variables climatiques et le nombre des nouveaux décès de la COVID-19

Relation entre variables climatiques et décès de la COVID-19	Coefficient R
Humidité spécifique	-0,39
Humidité relative	-0,34
Humidité moyenne	-0,35
Précipitation	-0,33
Température maximale	0,12
Température minimale	-0,33
Température moyenne	-0,13
Vitesse maximale du vent	0,11
Vitesse minimale du vent	0,04
Vitesse moyenne du vent	0,09

L'application du modèle Random Forest à notre ensemble de données météorologiques a permis de quantifier l'influence relative de chaque facteur sur l'incidence des cas de COVID-19 à Niamey. Les résultats obtenus montrent clairement que certains paramètres météorologiques jouent un rôle plus important que d'autres dans la variation du nombre de cas de la COVID-19 dans la ville de Niamey (Niger). Les facteurs liés à la vitesse du vent notamment la vitesse minimale du vent représente le facteur prédominant avec une proportion relative de 20,85%. La vitesse du vent semble exercer l'influence la plus significative sur la propagation du virus, suggérant que les variations des vents faibles peuvent avoir un effet substantiel sur la transmission. Le deuxième facteur par ordre d'importance est l'humidité spécifique qui contribue avec 17,57%, et l'humidité moyenne, avec 16,1%. Ces deux proportions soulignent l'importance de l'humidité atmosphérique dans la dynamique de transmission du virus de la COVID-19. La vitesse moyenne du vent et l'humidité relative sont également des facteurs importants, représentant respectivement 12,25% et 10,93%. Les précipitations, bien que modérément influentes avec 8,94%, indiquent que les conditions de précipitation peuvent jouer un rôle en lavant les particules en suspension. En revanche, les températures minimale (4,85%) et maximale (1,5%) montrent des effets limités sur l'incidence de la COVID-19, tout comme la température moyenne (-0,1%). Cette analyse met en évidence l'importance cruciale des conditions météorologiques, en particulier la vitesse du vent et l'humidité, dans la compréhension et la gestion de la propagation de la COVID-19 à Niamey, tout en soulignant la nécessité de tenir compte d'autres facteurs non météorologiques dans une analyse complète de la pandémie.

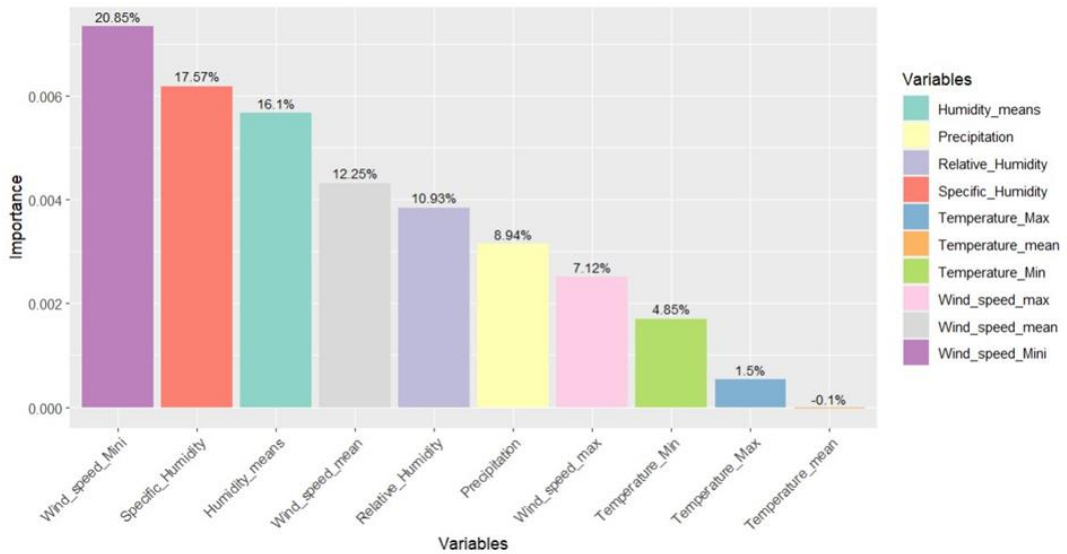


Figure 5 : Importance des variables climatiques dans l'apparition de nouveaux cas de la COVID-19

Tout comme, l'analyse des interrelations entre le nombre des cas et les variations des facteurs météorologiques, Random Forest a été aussi utilisé pour quantifier l'influence relative des facteurs météorologique sur le nombre de décès liés à la COVID-19 à Niamey. Les résultats obtenus montrent que certains paramètres météorologiques exercent une influence plus marquée que d'autres sur les décès liés à la maladie. En tête de liste, la vitesse moyenne du vent, avec une proportion relative de 20,65%, se démarque comme le facteur prépondérant, suggérant que les conditions aérodynamiques peuvent avoir un effet significatif sur la mortalité. Ensuite, la vitesse minimale du vent qui contribue avec 15,95% suggérant que les faibles variations du vent ont une influence sur la mortalité de la COVID-19. L'humidité spécifique contribue avec 10,44%, et la moyenne de l'humidité, avec 12,04%, soulignent également l'importance de l'humidité atmosphérique dans la dynamique de la mortalité. De plus, l'humidité relative, avec 13,24%, et la vitesse maximale du vent, avec 12,85%, montrent une influence notable. Les précipitations, bien que moins influentes avec 6,15%, suggèrent que les conditions de précipitation pourraient avoir un impact sur la mortalité en influençant la transmission du virus. En revanche, les températures minimale (5,3%) et maximale (2,56%) ont des effets limités sur le nombre de décès, tout comme la température moyenne (0,80%). Ces résultats mettent en évidence l'influence des conditions météorologiques, en particulier la vitesse du vent et l'humidité dans les décès liés à la COVID-19 à Niamey, tout en soulignant la nécessité de prendre en compte d'autres facteurs non météorologiques dans une analyse complète des facteurs de mortalité liés à la pandémie de la COVID-19.

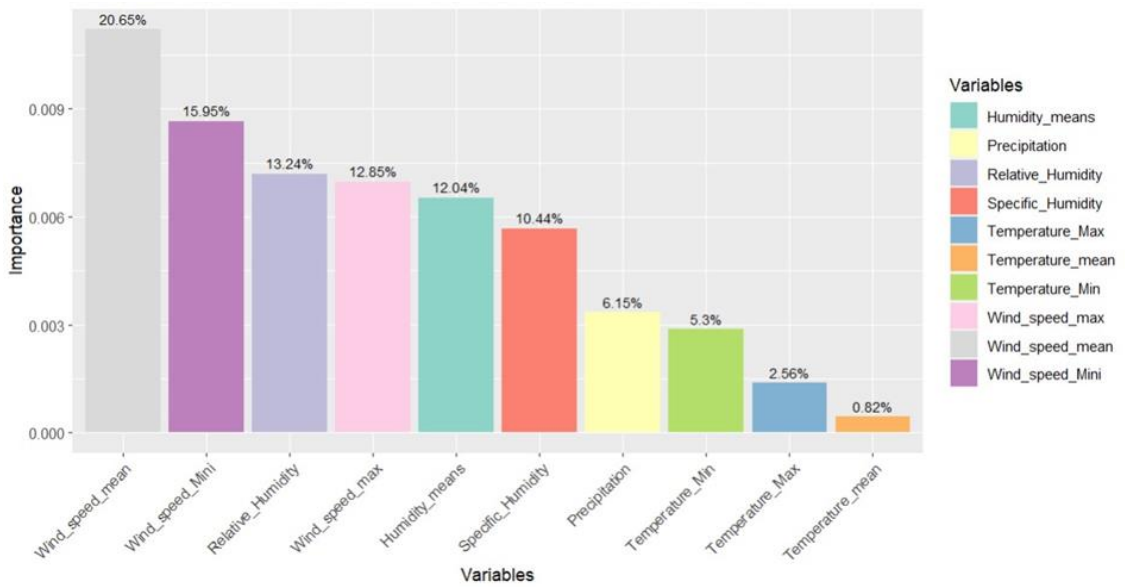


Figure 6 : Importance des variables climatiques dans l'apparition de nouveaux cas de décès dus à la COVID-19

En complément à notre analyse par apprentissage automatique à l'aide de l'algorithme Random Forest, nous avons également réalisé des graphes de corrélogramme pour évaluer les relations entre les facteurs météorologiques et le nombre de cas de la COVID-19 à Niamey. L'intérêt de cette approche réside dans la capacité à visualiser les corrélations linéaires entre les variables. Dans l'ensemble, tous les facteurs météorologiques ont montré des corrélations négatives avec les incidences du nombre de cas de la COVID-19, à l'exception des facteurs liés à la vitesse du vent qui ont présenté des corrélations positives, bien que faibles. Des corrélations négatives légèrement significatives entre les températures minimales et l'occurrence du nombre de cas de la COVID-19. Plus précisément ont été observées ainsi qu'entre l'humidité spécifique et l'occurrence des cas. Les autres facteurs tels que les précipitations, l'humidité relative, l'humidité moyenne et la température maximale ont montré des corrélations négatives faibles avec le nombre de cas de la COVID-19.

Cependant, il est essentiel de souligner que malgré ces faibles corrélations linéaires, l'analyse des interrelations entre les facteurs météorologiques et le nombre de cas par apprentissage automatique avec Random Forest a mis en évidence des contributions relatives significatives de ces facteurs et le nombre de cas de la COVID-19. Cette mise en évidence suggère que l'utilisation de modèles d'apprentissage automatique est plus adaptée pour l'analyse des interrelations multifactorielles des facteurs de causalité et/ou de concomitance. En effet, Random Forest a permis de considérer des relations non linéaires et complexes entre les variables, ce qui peut aider à mieux

comprendre les mécanismes sous-jacents à la propagation du virus dans un contexte météorologique spécifique, fournissant ainsi une perspective plus complète pour orienter les stratégies de prévention et de gestion de la pandémie dans la région de Niamey.

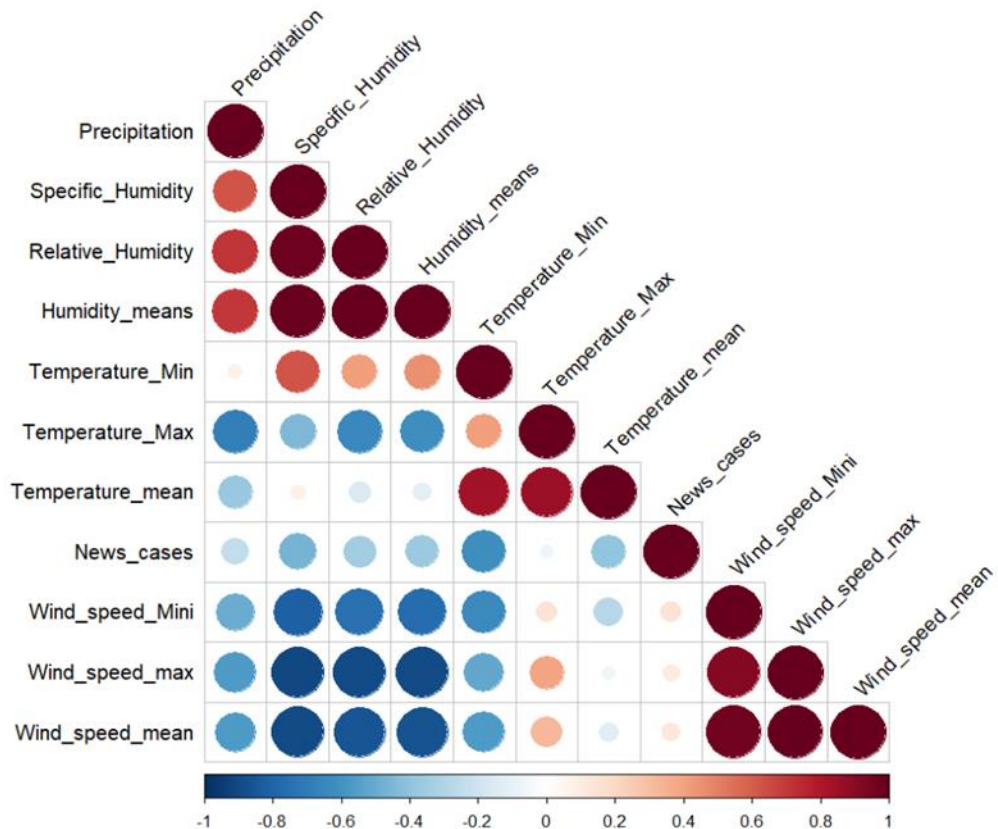


Figure 7 : Corrélogramme des facteurs météorologiques et nombre de cas de la COVID-19

Dans le prolongement de notre investigation, nous avons également effectué une analyse de corrélation linéaire entre les facteurs météorologiques et le nombre de décès attribués à la COVID-19 à Niamey. Ce qui nous a permis d'observer une autre caractéristique. En effet, pour cette analyse, en plus des corrélations positives des variables liées à la vitesse du vent, une autre variable, à savoir les températures maximales, a également montré une corrélation positive, bien que faible, avec le nombre de décès. Pour les autres facteurs météorologiques, telles que les températures minimales, l'humidité spécifique, l'humidité moyenne, la vitesse du vent moyen, la vitesse du vent maximale, la précipitation et l'humidité relative, des corrélations négatives ont été observées, bien que légèrement plus importantes que les corrélations positives.

Cependant, il est important de noter que l'analyse par apprentissage automatique avec Random Forest a encore une fois mis en évidence des contributions relatives significatives de ces facteurs météorologiques au nombre de décès liés à la COVID-19 telles que présentées dans la figure 6. Ces résultats renforcent l'argument selon lequel l'utilisation de modèles d'apprentissage automatique est mieux adaptée pour l'analyse des interrelations multifactorielles des facteurs de causalité et/ou de concomitance dans le contexte de la pandémie. En effet, Random Forest permet de prendre en compte des relations non linéaires et complexes entre les variables, fournissant ainsi une perspective plus approfondie et précise pour éclairer les décideurs et les professionnels de la santé dans leurs efforts visant à comprendre et à gérer la dynamique de la pandémie de la COVID-19 dans la région de Niamey.

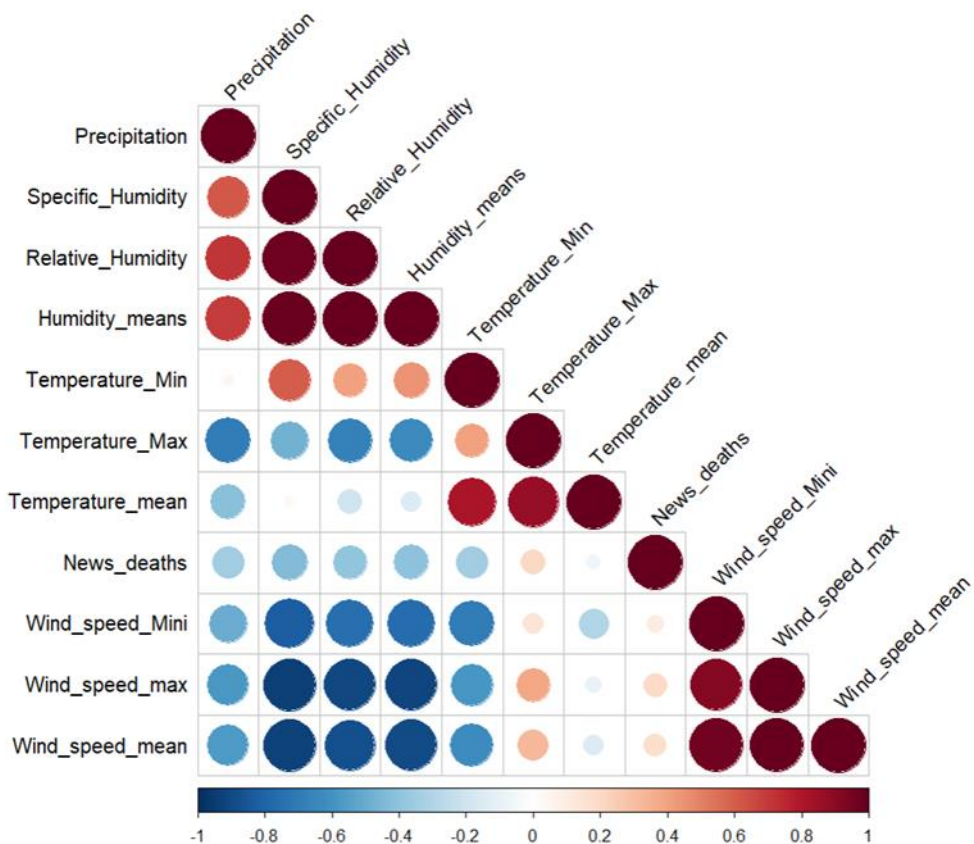


Figure 8 : Corrélogramme des facteurs météorologiques et nombre de décès de COVID-19

Discussion :

Cette étude analytique sur une période de deux ans (2020-2021), reposant sur des séries temporelles avec un recueil de données

météorologiques, montre l'influence des variations climatiques sur l'épidémiologie du COVID-19 à Niamey.

Les résultats obtenus grâce à l'application de l'algorithme Random Forest à notre ensemble de données météorologiques fournissent des informations importantes sur les facteurs météorologiques qui peuvent influencer le nombre de décès liés à la COVID-19 dans la région de Niamey. Ces découvertes ont plusieurs implications significatives pour la compréhension de la pandémie et la prise de mesures préventives.

Tout d'abord, la vitesse minimale du vent émerge comme un facteur de premier plan, avec une proportion relative de 15,95%. Cela suggère que les vents plus faibles peuvent contribuer de manière substantielle à la mortalité liée à la COVID-19. Il est plausible que les vents faibles favorisent la stagnation des particules virales dans l'air, augmentant ainsi la probabilité d'exposition des individus (Bochenek et al., 2021).

De plus, l'humidité spécifique (10,44%) et l'humidité moyenne (12,04%) jouent un rôle important, soulignant l'influence de l'humidité atmosphérique sur la mortalité. Une humidité plus élevée peut potentiellement prolonger la survie du virus dans l'environnement et faciliter sa transmission (Hariharan, 2021).

La vitesse moyenne du vent, avec la proportion relative la plus élevée de 20,65%, mérite également une attention particulière. Cette constatation suggère que des conditions de vent en général ont un impact significatif sur le nombre de décès liés à la COVID-19 (A. R. Md. T. Islam, Hasanuzzaman, et al., 2021). Des vents plus forts pourraient potentiellement disperser le virus, réduisant ainsi les risques d'exposition (Yeşilkanat, 2020).

En revanche, les températures minimale (5,3%) et maximale (2,56%) montrent un effet limité sur le nombre de décès, indiquant que, dans le contexte de Niamey, les variations de température ont une influence moindre sur la mortalité liée à la COVID-19. De même, la température moyenne (-0,80%) semble avoir un impact négligeable.

Ces résultats soulignent l'importance cruciale des conditions météorologiques, en particulier la vitesse du vent, l'humidité spécifique et la moyenne de l'humidité, dans la compréhension de la dynamique de la COVID-19 à Niamey. Cependant, il est essentiel de noter que d'autres facteurs, tels que les mesures de santé publique, la densité de population, le comportement individuel et l'accès aux soins de santé, peuvent également jouer un rôle déterminant dans la mortalité liée à la COVID-19. Par conséquent, une approche multidisciplinaire intégrant ces différents facteurs est nécessaire pour une analyse complète et une prise de décision informée dans la lutte contre la pandémie.

Conclusion

Cette étude démontre que l'analyse par apprentissage automatique avec l'algorithme Random Forest s'avère être une approche cruciale pour évaluer les relations entre les facteurs météorologiques et le nombre de cas de la COVID-19 ainsi que le nombre de décès liés à la maladie à Niamey. En dépit de certaines corrélations linéaires faibles observées par l'analyse de corrélation, l'utilisation de Random Forest met en évidence des contributions significatives de ces facteurs, soulignant l'importance de considérer des relations non linéaires et multifactorielles dans la compréhension de la pandémie, ce qui a des implications fondamentales pour la gestion et la prévention de la COVID-19 dans la région.

L'analyse des influences relatives des facteurs météorologiques en relation avec le nombre de décès liés à la COVID-19 à Niamey révèle des informations précieuses pour la compréhension de la pandémie dans cette région. Les résultats indiquent clairement que la vitesse minimale du vent, l'humidité spécifique, la moyenne de l'humidité et la vitesse moyenne du vent sont les principaux contributeurs à la variation de la mortalité liée à la COVID-19. Ces constatations suggèrent que les conditions météorologiques, en particulier la vitesse du vent et l'humidité, peuvent avoir un impact significatif sur la transmission du virus et le nombre de décès. La vitesse moyenne du vent, représentant 20,65%, se positionne également comme un facteur essentiel, indiquant que les conditions de vent en général ont un impact sur le nombre de décès.

Cette étude met en évidence l'importance de la surveillance météorologique en tant qu'outil de prévision et d'alerte précoce pour la gestion du COVID-19, en particulier dans les régions où les conditions climatiques peuvent jouer un rôle significatif. Cependant, il est impératif de compléter ces observations par des mesures de santé publique robustes et des stratégies de vaccination afin de minimiser l'impact de la pandémie.

En fin de compte, l'analyse des facteurs météorologiques associés aux décès liés à la COVID-19 offre une perspective précieuse pour les décideurs et les professionnels de la santé, en les aidant à mieux comprendre les dynamiques locales de la pandémie et à mettre en place des interventions appropriées pour protéger la population. Cette recherche souligne également l'importance de la collaboration interdisciplinaire pour une réponse efficace aux défis posés par la pandémie de la COVID-19.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Abdollahi, A., & Rahbaralam, M. (2020). *Effect of Temperature on the Transmission of COVID-19 : A Machine Learning Case Study in Spain* (p. 2020.05.01.20087759). medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.05.01.20087759>
2. Bochenek, B., Jankowski, M., Gruszczynska, M., Nykiel, G., Gruszczynski, M., Jaczewski, A., Ziemianski, M., Pyrc, R., Figurski, M., & Pinkas, J. (2021). Impact of Meteorological Conditions on the Dynamics of the COVID-19 Pandemic in Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/ijerph18083951>
3. Candel, F. J., Barreiro, P., San Román, J., Abanades, J. C., Barba, R., Barberán, J., Bibiano, C., Canora, J., Cantón, R., Calvo, C., Carretero, M., Cava, F., Delgado, R., García-Rodríguez, J., González Del Castillo, J., González de Villaumbrosia, C., Hernández, M., Losa, J. E., Martínez-Peromingo, F. J., ... Zapatero, A. (2020). Recommendations for use of antigenic tests in the diagnosis of acute SARS-CoV-2 infection in the second pandemic wave : Attitude in different clinical settings. *Revista Espanola De Quimioterapia: Publicacion Oficial De La Sociedad Espanola De Quimioterapia*, 33(6), 466-484. <https://doi.org/10.37201/req/120.2020>
4. CDC. (2020, février 11). *Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html>
5. Chung, H. W., Apio, C., Goo, T., Heo, G., Han, K., Kim, T., Kim, H., Ko, Y., Lee, D., Lim, J., Lee, S., & Park, T. (2021). Effects of government policies on the spread of COVID-19 worldwide. *Scientific Reports*, 11(1), 20495. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99368-9>
6. Corripio, J. G., & Raso, L. (2020). *Weather variables impact on COVID-19 incidence* (p. 2020.06.08.20125377). medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.06.08.20125377>
7. *COVID - Statistiques Coronavirus—Worldometer*. (s. d.). Consulté 28 mai 2023, à l'adresse <https://www.worldometers.info/coronavirus/>
8. Dieng, A., Diouf, J. B. N., & Ndiaye, S. M. L. (2020). COVID-19 au Sénégal : Réflexion d'un microbiologiste. *The Pan African Medical Journal*, 35(Suppl 2), 31. <https://doi.org/10.11604/pamj.supp.2020.35.2.22860>

9. Dye, C. (2014). After 2015 : Infectious diseases in a new era of health and development. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1645), 20130426. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0426>
10. Faranda, D., & Alberti, T. (2020). Modeling the second wave of COVID-19 infections in France and Italy via a stochastic SEIR model. *Chaos (Woodbury, N.Y.)*, 30(11), 111101. <https://doi.org/10.1063/5.0015943>
11. Hardy, É. J. L., & Flori, P. (2021). Spécificités épidémiologiques de la COVID-19 en Afrique : Préoccupation de santé publique actuelle ou future ? *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 79(2), 216-226. <https://doi.org/10.1016/j.pharma.2020.10.011>
12. Hariharan, R. (2021). Random forest regression analysis on combined role of meteorological indicators in disease dissemination in an Indian city : A case study of New Delhi. *Urban Climate*, 36, 100780. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100780>
13. Islam, A., Pakrashi, D., Vlassopoulos, M., & Wang, L. C. (2021). Stigma and misconceptions in the time of the COVID-19 pandemic : A field experiment in India. *Social Science & Medicine*, 278, 113966. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.113966>
14. Islam, A. R. Md. T., Hasanuzzaman, Md., Shammi, M., Salam, R., Bodrud-Doza, Md., Rahman, Md. M., Mannan, Md. A., & Huq, S. (2021). Are meteorological factors enhancing COVID-19 transmission in Bangladesh? Novel findings from a compound Poisson generalized linear modeling approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(9), 11245-11258. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11273-2>
15. Islam, A., Sayeed, M. A., Rahman, M. K., Ferdous, J., Shano, S., Choudhury, S. D., & Hassan, M. M. (2021). Spatiotemporal patterns and trends of community transmission of the pandemic COVID-19 in South Asia : Bangladesh as a case study. *Biosafety and Health*, 3(1), 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.bsheal.2020.09.006>
16. Liu, D., Tai, Q., Wang, Y., Pu, M., Ge, S., Ji, T., Zhang, L., & Su, B. (2020). *The impact of containment measures and air temperature on mitigating COVID-19 transmission : Non-classical SEIR modeling and analysis* (p. 2020.05.12.20099267). medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.05.12.20099267>
17. Liu, Y., Carlisle, E., Zhang, H., Yang, B., Steiner, M., Shao, T., Duan, B., Marone, F., Xiao, S., & Donoghue, P. C. J. (2022). Saccorhynchus is an early ecdysozoan and not the earliest deuterostome. *Nature*, 609(7927), 541-546. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05107-z>

18. Lyu, Y., Wang, Y., Jiang, C., Ding, C., Zhai, M., Xu, K., Wei, L., & Wang, J. (2023). Random forest regression on joint role of meteorological variables, demographic factors, and policy response measures in COVID-19 daily cases : Global analysis in different climate zones. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(32), 79512-79524. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27320-7>
19. Mutombo, P. N., Fallah, M. P., Munodawafa, D., Kabel, A., Houeto, D., Goronga, T., Mweemba, O., Balance, G., Onya, H., Kamba, R. S., Chipimo, M., Kayembe, J.-M. N., & Akanmori, B. (2022). COVID-19 vaccine hesitancy in Africa : A call to action. *The Lancet. Global Health*, *10*(3), e320-e321. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(21\)00563-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00563-5)
20. Paraskevis, D., Kostaki, E. G., Alygizakis, N., Thomaidis, N. S., Cartalis, C., Tsiodras, S., & Dimopoulos, M. A. (2021). A review of the impact of weather and climate variables to COVID-19 : In the absence of public health measures high temperatures cannot probably mitigate outbreaks. *The Science of the Total Environment*, *768*, 144578. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144578>
21. Sehra, S. T., Saliccioli, J. D., Wiebe, D. J., Fundin, S., & Baker, J. F. (2020). Maximum Daily Temperature, Precipitation, Ultraviolet Light, and Rates of Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in the United States. *Clinical Infectious Diseases: An Official Publication of the Infectious Diseases Society of America*, *71*(9), 2482-2487. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa681>
22. Talbot, N., Takada, A., Bingham, A. H., Elder, D., Lay Yee, S., & Golubiewski, N. E. (2021). An investigation of the impacts of a successful COVID-19 response and meteorology on air quality in New Zealand. *Atmospheric Environment*, *254*, 118322. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118322>
23. Wan, X., Cheng, C., & Zhang, Z. (2020). *Early transmission of COVID-19 has an optimal temperature but late transmission decreases in warm climate* (p. 2020.05.14.20102459). medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.05.14.20102459>
24. Wang, B., Liu, J., Li, Y., Fu, S., Xu, X., Li, L., Zhou, J., Liu, X., He, X., Yan, J., Shi, Y., Niu, J., Yang, Y., Li, Y., Luo, B., & Zhang, K. (2020). Airborne particulate matter, population mobility and COVID-19 : A multi-city study in China. *BMC Public Health*, *20*(1), 1585. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09669-3>
25. *Who-china-joint-mission-on-COVID-19-final-report.pdf*. (s. d.). Consulté 28 mai 2023, à l'adresse <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-COVID-19-final-report.pdf>

26. Yao, Y., Pan, J., Wang, W., Liu, Z., Kan, H., Qiu, Y., Meng, X., & Wang, W. (2020). Association of particulate matter pollution and case fatality rate of COVID-19 in 49 Chinese cities. *The Science of the Total Environment*, 741, 140396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140396>
27. Yeşilkanat, C. M. (2020). Spatio-temporal estimation of the daily cases of COVID-19 in worldwide using random forest machine learning algorithm. *Chaos, Solitons & Fractals*, 140, 110210. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110210>