REPUBLIQUE DU BENIN

****

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

****

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

****

FACULTE DES SCIENCES DE LA SANTE

****

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE EN MEDECINE

Année 2022 N°2504

ETUDE DE LA SAISONNALITE DE LA COVID-19 AU BENIN DE MARS 2020 A FEVRIER 2022

THESE

Présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du grade de

Docteur en Médecine

(Diplôme d'État)

Par :

Régis Fortuné PADONOU

Né le 05 août 1998 à Porto-Novo (Bénin)

DIRECTEUR DE THESE

Professeur SOPOH Ghislain Emmanuel

Professeur titulaire

Santé Publique

CO-DIRECTRICE DE THESE

Dr GLELE AHANHANZO Yolaine Epse. **HESSOU**

Maître de conférences agrégé

Santé Publique

PRESIDENT DE JURY

Professeur AGODOKPESSI Gildas

MEMBRES DE JURY

Professeur SOPOH Ghislain

MCA PADONOU Géraud

Année académique : 2021-2022

REPUBLIQUE DU BENIN
*****
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

FACULTE DES SCIENCES DE LA SANTE
****

N°1200 /2022/UAC/FSS/VD-Ecoles/VD-UFR Pharma/VD UFR Méd/SGE/CSRH/SA

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI FACULTE DES SCIENCES DE LA SANTE

NOVEMBRE 2022

Université d'Abomey - Calavi
LE DOYEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA SANTE

LISTE DU PERSONNEL ENSEIGNANT

DOYEN : Professeur AVAKOUDJO Josué Dejinnin Georges

VICE-DOYEN U.F.R Médecine : Maître de Conférences Agrégé VODOUHE Ulrich Bidossèssi

VICE-DOYEN U.F.R Pharmacie : Maître de Conférences Agrégé GANFON Medessou Yowel Habib

VICE-DOYENNE /ECOLES : Professeur AZON KOUANOU Angèle

Année : 2022-2023 (version novembre 2022)

PROFESSEURS TITULAIRES

1. Dr HOUINATO Dismand Stéphan.....	Neurologie
2. Dr ADJIBABI Wassi.....	ORL-Chirurgie Cervico Faciale
3. Dr MEHINTO Delphin Kuassi.....	Chirurgie Viscérale
4. Dr GANGBO Flore	Histologie- Embryologie-Cytogénétique
5. Dr LALEYE Anatole O. A	Histologie-Embryologie-Cytogénétique
6. Dr AMOUSSOU-GUENOU Marcellin Kuassi.	Biophysique, Médecine Nucléaire
7. Dr FIOGBE Michel Armand.....	Chirurgie Pédiatrique
8. Dr HANS-MOEVI Aristote	Orthopédie -Traumatologie
9. Dr KPADONOU Toussaint Godonou.....	Médecine Physique – Réadaptation
10. Dr SOUNOUVOU Ignace.....	Ophtalmologie
11. Dr BIAOU Olivier	Imagerie Médicale
12. Dr ODOULAMI-YEHOUESSI Lisette.....	Ophtalmologie
13. Dr ZOUMENOU Eugène.....	Anesthésie-Réanimation
14. Dr DENAKPO Justin Lewis	Gynécologie Obstétrique
15. Dr DOSSOU Francis Moïse	Chirurgie Générale
16. Dr ADEGBIDI Hugues Daniel Gbadébo	Dermatologie Vénérologie
17. Dr AFFOLABI Dissou.....	Bactériologie-Virologie
18. Dr ALAO Modjere Ola Maroufou Jules.....	Pédiatrie et Génétique Médicale
19. Dr ATADOKPEDE Agbomènou Félix.....	Dermatologie- Vénérologie
20. Dr AWEDE Bonaventure Lucien Sévérin.....	Physiologie
21. Dr FIOSSI KPADONOU Emilie.....	Pédopsychiatrie
22. Dr TONATO BAGNAN Josiane Angéline A.	Gynécologie-Obstétrique
23. Dr ADJIEN Kodjo Constant	Neurologie
24. Dr OGOUYEMI HOUNTO Aurore Bertille.	Parasitologie
25. Dr SAGBO Gratien.....	Pédiatrie
26. Dr SEHONOU Jean	Hépato-Gastro-Entérologie
27. Dr AGODOKPESSI Gildas	Pneumo-Phtisiologie
28. ALAMOU Soulé.....	Ophtalmologie
29. Dr ALLABI Aurel Constant Eustache.....	Pharmacologie Clinique
30. Dr AVAKOUDJO Josué D. Georges	Urologie-Andrologie
31. Dr AYELO Ahounmènou Paul	Médecine du Travail
32. Dr GNONLONFOUN Dieu donné	Neurologie
33. Dr HOUNKPATIN Benjamin I. Bodounrin.....	Gynécologie Obstétrique
34. Dr TSHABU AGUEMON Christiane	Gynécologie Obstétrique

Université d'Abomey - Calavi
LE DOYEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA SANTE

35. Dr ZOMALHETO Zavier Cossi	Rhumatologie
36. Dr YEKPE AHOUANSOU Hermione Patricia Frida..	Imagerie Médicale
37. Dr AGUEMON Badirou Din.....	Santé Publique
38. Dr ALAGNIDE Hountondji Etienne	Médecine Physique et de Réadaptation
39. Dr AZON KOUANOU Angèle	Médecine Interne
40. Dr GBESSI Dansou Gaspard	Chirurgie Générale
41. Dr HINSON Vikkey Antoine	Médecine du Travail
42. Dr HOUNKPE Pierre Claver	Anesthésie-Réanimation
43. Dr LALYA Francis Honorat.....	Pédiatrie et Génétique Médicale
44. Dr VIGAN Jacques	Néphrologie

MAÎTRES DE CONFERENCES AGREGES

1. Dr ASSOUTO A. Pamphile.	Anesthésie –Réanimation
2. Dr AVAKOUDJO François	ORL-Chirurgie Cervico Faciale
3. Dr LAWSON AFOUDA Sonia.....	ORL-Chirurgie Cervico Faciale
4. Dr SISSINTO SAVI DE TOVE Yolande.....	Parasitologie-Mycologie
5. Dr YEMOA Loconon Y. Achille.	Chimie Analytique-Bromatologie
6. Dr AGBODANDE Kouessi Anthelme	Médecine Interne
7. Dr ALIHONOU Thierry	Neurochirurgie
8. Dr BAGNAN TOSSA Léhila.....	Pédiatrie et Génétique Médicale
9. Dr GANFON M. Yowel Habib	Pharmacognosie
10. Dr KEREKOU Annelie Célestine.	Endocrinologie
11. Dr VODOUHE Ulrich B.	ORL-Chirurgie Cervico Faciale
12. Dr WANVOEGBE Armand.....	Médecine Interne
13. Dr CODJO Houétondji Léopold.....	Cardiologie
14. Dr ABOUBACAR Moufalilou	Gynécologie-Obstétrique
15. Dr ABOUKI Chakiratou Olaïdé Adoukê.....	Ophtalmologie
16. Dr ADJADOHOUN Sonia B.M. Gwladys....	Radiologie, Radiodiagnostic et Imagerie médicale
17. Dr AKODJENOU Joseph	Anesthésie Reanimation
18. Dr AKPADJAN Gbèmawonmédè Fabrice.....	Dermatologie-Vénérologie
19. Dr ALIHONOU Florence Nathalie Yacoba.....	Pédiatrie et Génétique Médicale
20. Dr ANAGONOU Lary Lucrèce.....	Pédopsychiatrie
21. Dr ATTOLOU Sètondji Roger Gilles.....	Chirurgie Générale
22. Dr AZONBAKIN Azandégbé Simon	Histologie-Embryologie-Cytogénétique
23. Dr BIGOT Cédric Egnonwa Parfait	Médecine Légale

LE DOYEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA SANTE

24. Dr BOGNON Gilles Modeste Alain.....	Pédiatrie et Génétique Médicale
25. Dr CHIGBLO Sègla Pascal Eric.....	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie
26. Dr DEGBOE Kaï Bérénice Esthelle	Dermatologie-Vénérologie
27. Dr GNANGNON Freddy Houehanou R.....	Cancérologie Chirurgicale
28. Dr HODONOU Dètondji Fred Jean-Martin...	Urologie-Andrologie
29. Dr IMOROU SOUAÏBOU Yacoubou.....	Chirurgie Générale
30. Dr KLIKPO Elvire	Psychiatrie Adulte
31. Dr KPOSSOU Aboudou Raïmi	Gastroentérologie et Hépathologie
32. Dr LAWANI Ismaïla.....	Chirurgie Viscérale
33. Dr MIKPONHOUE OLOU Rose Christelle	Médecine du Travail
34. Dr OGOUDJOBI Ogourindé Mathieu.....	Gynécologie-Obstétrique
35. Dr PADONOU Abiodoun Djossè.....	Traumatologie-Orthopédie
36. Dr PADONOU Caroline Sourou Clémence.....	Pédiatrie et Génétique Médicale
37. Dr PADONOU Sètondji Géraud Roméo.....	Santé Publique
38. Dr SEIDOU Falilatou	Anatomie et Cytologie Pathologique
39. Dr SONOU Djidjoho Joël Arnaud.....	Cardiologie
40. Dr TOGNIFODE Medesse Véronique.....	Gynécologie-Obstétrique
41. Dr WACHINOU Ablo Prudence.....	Pneumo-Phtisiologie
42. Dr YEVI Dodji Magloire Inès.....	Urologie Andrologie
43. Dr ZOHOUN GUIDIGBI Lutécia Myria A.....	Cardiologie

Université d'Abomey - Calavi
LE DOYEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA SANTE

MAITRES ASSISTANTS

1. Dr GANDAHO Hugues Jean-Thierry	Neurochirurgie
2. Dr AGBOTON Bruno Léopold	Néphrologie
3. Dr DJOSSOU Médéssè David.....	Odontologie Pédiatrique
4. Dr ADJAGBA Mahouna Philippe Dotou	Pédiatrie et Génétique Médicale
5. Dr AMOSSOU Labissi François.....	Traumatologie-Orthopédie
6. Dr BADOU Agnès Oladun Sylvie.....	Sociologie et Anthropologie sociale
7. Dr GNINKOUN Comlan Jules.....	Endocrinologie Métabolisme et Nutrition
8. Dr LOKOSSOU Mègnissè S. Houévi Symphorose...	Gynécologie-Obstétrique
9. Dr TOKOUDAGBA Kossi Jean-Marie Dénis.....	Chimie Organique et Chimie des Substances Naturelles
10. Dr ADJOBIMEY Mênonli.....	Santé au Travail
11. Dr BANCOLE POGNON Sylvie Arlette A.....	Chirurgie Buccale
12. Dr ZOHOUN Comlan Gildas Alban	Hématologie
13. Dr AHOUNOU Ernest Stéphane.....	Anesthésie-Réanimation

14. Dr AÏGBE Nestor.....	Ophtalmologie
15. Dr DANGBEMEY Djima Patrice.....	Gynécologie-Odstrétique
16. Dr DO SANTOS ZOUNON Alexis.....	OTO-Rhino Laryngologie et Chirurgie Cervico-Faciale
17. Dr HOUNKPONOU AMOUSSOU-GUENOU Eliane Kayivi Murielle	Cardiologie
18. Dr LALEYE Christel Marie Fortunat Olatumbossum B.I.	Anatomie
19. Dr MIZEHOUN Gbèdécon Carmelle.....	Nutrition
20. AGBOKPONTO Janvier Engelbert.....	Chimie Analytique
21. Dr ASSANHOU Assogba Gabin.....	Pharmacie Galénique
22. Dr AZA-GNANDJI Guy-Gérard.....	Psychiatrie
23. Dr BAGLO Dédé Priscillia Tatiana.....	Hématologie Biologie
24. Dr GOUKODADJA Oswald.....	Traumatologie Orthopédie
25. Dr SOSSA Jean	Urologie

Université d'Abomey - Calavi
LE DOYEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA SANTE

ASSISTANTS

1. Dr VIGNON Cyprien Kossi.....	Chirurgie Générale
2. Dr LANKPEKO AFFOLABI Clémence M.	Pédiatrie et Génétique Médicale
3. Dr YAKOUBOU YOBO Annatou	Pédiatrie et Génétique Médicale
4. Dr VIGNON Koffi Rodolphe	Hépato-Gastroentérologie
5. Dr AMONLES Yves D.	Psychiatrie
6. Dr HOUESSOU ENIANLOKO TCHIAKPE Nicole Zinhoué	Pédiatrie
7. Dr HOUNDETOUNGAN David Gilles.....	Biophysique
8. Dr DADJO Kinski Aumar.....	Traumatologie Orthopédie
9. Dr HOUEZE Richard Ghislain Constantin.....	Neurologie

Le Doyen,

Université d'Abomey - Calavi
LE DOYEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA SANTE

Professeur Josué Dejinnin Georges AVAKOUDJO

ACTION DE GRÂCE

Je puis tout par Celui qui me fortifie,

Philippiens 4 :13

Père, que puis-je dire que Tu ne saches déjà ? Ce travail, Tu l'as fait. Fidèle Tu m'es resté. De Ton amour, Tu m'as comblé. Tu es ma force, mon abri, mon rocher, mon secours. Tu es à moi et je suis à Toi. Merci pour chaque grâce dont Tu me combles. Je t'aime, Père, et merci de m'aimer.

A Toi soit toute mon adoration et ma louange.

A Toi soit ma vie.

DEDICACES

- **A mon père, Germain Gil PADONOU**

Papa, le Seigneur a fait de toi ce héros qui a toujours su m'inspirer. Depuis toujours, tu te sacrifies pour me voir réussir. Ta rigueur, ton amour débordant pour le travail bien fait, ton endurance, tout ceci a su me motiver et me garder endurant. A mes côtés tu as toujours été et l'homme que je suis tu as éduqué. Ce travail est le fruit de tes sacrifices. Sois béni. Je prie afin que tu reçoives d'abondantes grâces de Dieu.

Reçois ma profonde gratitude

- **A ma mère, Sylvie SAVI Epouse PADONOU**

Maman, tu as supporté tous mes caprices. Tu n'as jamais manqué d'être là. Et, à mes petits besoins, tu as su satisfaire. Ce travail est le fruit de ta patience. Reçois ma profonde gratitude et sois bénie. Que tu reçoives d'abondantes grâce de Dieu le Père.

Reçois ma profonde gratitude

- **A mes frères, Gilles, Gildas, Cédric et Eugène**

Vous avez été fiers de moi, supporté mes égards et mes caprices tout au long de ma formation. Merci pour votre amour à mon égard. Ce travail est le fruit de votre patience et de vos sacrifices.

Recevez ma gratitude et soyez bénis

- **A ma tante Nadine PADONOU**

Merci d'avoir été là pour moi et de m'avoir accompagné tout au long de ma formation. Tu es ma deuxième Maman.

Reçois ma profonde gratitude

- **Aux familles PADONOU et SAVI**

Vous avez été là pour m'encourager. Merci pour votre soutien.

Puissiez-vous jouir des fruits de ce travail

- **A Dona Dédisse MEVI, *« Mi NFA »***

Tu as été là dans les heureux comme dans les moments difficiles. Tu m'as aidé à surmonter des défis. Et de toi, j'ai beaucoup appris. Nous avons passé d'agréables moments. C'est pour moi une grâce de t'avoir rencontré. Puisse notre amitié demeurer.

Sois bénie.

- **A mes ainés Razak ANDEMI, Cédric DOSSOU, Mystère DJENONTIN,**

Vous rencontrer a été pour moi une grâce. Votre savoir, votre savoir-être et votre savoir-faire a été pour moi une source d'inspiration. Grâce au Jeu d'Hippocrate que vous avez instauré dans la faculté, vous avez su raviver en moi ma passion pour la Médecine. Votre leadership, votre génie, vos valeurs ont été pour moi un exemple. Merci pour vos conseils et votre disponibilité durant tout ce parcours.

Recevez ma profonde gratitude, grands frères

- **A Monsieur Néro GNANBAKPO**

Vous m'avez permis par votre enseignement et votre disponibilité d'avoir tout le bagage nécessaire ainsi que mes bourses d'études pour faire ma formation médicale. Je vous suis infiniment reconnaissant.

Soyez bénis, vous et votre famille

REMERCIEMENTS

- **Au gouvernement béninois**

Merci de m'avoir accordé une bourse d'étude en Médecine générale.

- **A la Fondation Vallet et à l'ONG Bénin Excellence**

Merci de m'avoir accordé une bourse d'étude et pour tous les livres médicaux mis à ma disposition au travers des nombreuses bibliothèques construites. Ces livres m'ont aidé à approfondir les cours reçus à la faculté et de ce fait, à parfaire ma formation médicale. Je dois avouer que sans ces livres, je serais à un niveau n-*k* en termes de savoir médical (*k étant un nombre entier naturel et inférieur à n)*. PS : Je suis abonné à toutes les bibliothèques de l'ONG Bénin Excellence et j'ai hâte de rallonger la liste avec celle en cours de construction à la Faculté des Sciences de la Santé de Cotonou.

- **Au Conseil des Activités Educatives du Benin (CAEB)**

Merci pour m'avoir, en partenariat avec la Fondation Vallet et l'ONG Bénin Excellence, octroyé une bourse d'études.

- **Au Dr Ange DOSSOU, Messieurs Appolinaire BAMAI, Basile AKPOVI, Didier KAKPA, Franck OLODO**

Merci pour avoir aidé à la réalisation de ce travail.

- **Au noyau du BSBI (Bloc Soudé pour le *Buching* Intensif), Cornélus A., Maurel L., Alexia H. et Milène H. et vous braves dames qui l'aviez rejoint Nerlie A. et Viviane O.**

J'ai passé avec vous mes premières années à la faculté. Et ces moments m'ont bien manqué par la suite. Je me rappelle encore les schémas sur les tableaux des EVEs Toilettes et Mosquée, des os de la tête, ceux illustrant les semaines de développement embryonnaire, les longues chaines de réactions en Chimie

organique, nos lectures du Medical Physiology de Boulpaep et nos discussions. Je me rappelle aussi ces moments de déjeuner et de bavardages dans notre QG du bloc Pharma. Ils étaient les plus merveilleux et les plus passionnants de ma vie de carabin. Merci pour ces moments d'apprentissage intense que nous avons partagé. L'aventure était belle et mémorable.

Belle carrière à nous.

- **A mon groupe de stage interné Dona M., Maurel L., Frangilo G., Mathias A., Alain S., Pérez K., Odélia H-G., Ramziath M-K., Romario A., Merleen G., Aubierge F., Chancelle L, Faridath M., Fréjus A., Eniola E., Joan A., Ariane H., Miness D., Marius Z., Nawalia D., Eudoxie A.**

Vous avez également fait ma joie durant ces sept années de formation. J'ai passé de merveilleux moments avec chacun de vous, surtout ceux de l'internat. Je crois avoir choisi le meilleur groupe de stage d'internat. Et ce fut un plaisir. L'aventure fut longue et nous voilà à la fin. Merci pour ces beaux moments partagés à vos côtés. Fier de nous je suis. Spécial Big Up à *Maurel LALEYE* et à *Miness DAGBETO* pour ces moments fraternels particuliers partagés avec vous.

Belle carrière à nous.

- **A tous mes collègues de la 44ème promotion de Médecine générale**

Pour tous ces moments partagés. Spécial Big up à mon très cher collègue, Leader avéré de cette promotion, ***Robert AMOUSSOU***. Merci pour tous tes sacrifices qui nous ont permis d'être ou nous sommes aujourd'hui.

- **A tous les membres du Club des jeux médicaux de la FSS**

Fin 2017, ma passion pour la science médicale était dans un coma profond Glasgow 3/15. Elle avait été admise dans le service de réanimation du Jeu d'Hippocrate. Toute l'équipe de ce service avait pris en charge de manière très efficace ma passion. Après son rétablissement, je n'avais pas pu m'empêcher de

travailler pour la promotion de ce service de réanimation. Je n'oublie pas le service des urgences Question Pour Un Carabin. En tout, j'ai découvert au cours de cette expérience des ainés, des collègues, des cadets, amoureux de la Médecine. L'aventure fut belle et elle ne s'arrêtera pas. Des séances d'entrainement aux divers tournois, l'apprentissage ludique de la Médecine m'était offert. Des amis je me suis fait, à une famille j'ai adhéré. Longue vie au Jeu d'Hippocrate et au Question Pour Un Carabin. Belle carrière à nous.

- **A Pleck DANSOU, Samir BONI, Marcel ALOEKPO, Caleb DANSOU, Emmanuel DANDEGLA, Jean Baptiste KPOSSOU**

Vous avez su vous rendre disponible malgré vos occupations pour m'aider à accomplir ce travail. Merci pour vos conseils.

Recevez ma profonde gratitude.

HOMMAGES

- **A tous les enseignants de la Faculté des Sciences de la Santé de Cotonou**

Chers Maîtres, tout au long de notre parcours académique, vous n'avez ménagé aucun effort pour nous donner une formation de qualité, Merci pour votre disponibilité et pour tous les sacrifices, Veuillez trouver ici, l'expression de notre profonde reconnaissance.

- **A notre Maitre et Directeur de thèse, le Professeur titulaire SOPOH Ghislain Emmanuel**

En une année, nous avons été émerveillé par votre humilité, votre patience, votre grand esprit de sagesse et paternel. Vous avez été pour nous une source de motivation et d'inspiration pour la réalisation de ce travail. Vous étiez toujours disponibles à tous les moments pour répondre à nos préoccupations. C'est pour nous une grâce d'avoir travaillé sous votre supervision. Trouvez en ce travail toute notre reconnaissance.

Hommage respectueux.

- **A notre Maitre et Co-directrice de thèse, le Maitre de Conférence Agrégé GLELE AHANHANZO Yolaine Ep, HESSOU**

Ce travail est le fruit de vos conseils. Vous avez su vous rendre disponible pour répondre à nos préoccupations. Trouvez en ce travail toute notre reconnaissance.

Hommages respectueux.

- **Au Président du Jury**

En acceptant la présidence de notre jury de thèse, vous nous faites le plus grand honneur. Aucune œuvre humaine n'étant parfaite, nous acceptons humblement

vos conseils, remarques et suggestions dans le cadre de l'amélioration de ce travail.

Hommages respectueux.

- **Aux honorables Membres du jury**

Chers maîtres, malgré vos multiples occupations, vous avez accepté de juger notre travail. Vos précieuses recommandations seront prises en compte pour améliorer la qualité de celui-ci. Veuillez recevoir l'expression de notre profond respect.

Hommages respectueux.

LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ACE2	: Angiotensin Converting Enzyme 2
ARN	: Acide Ribonucléique
CDC	: Centers for Disease Control and Prevention
COVID-19	: COronaVIrus Disease 2019
CRP	: C Reactive Protein
F	: Statistique de Fischer
Hum	: Humidité
IL-6	: Interleukine-6
IQR	: Interquartile Range
LDH	: Lactate Deshydrogenase
Max	: Maximale
MERS-COV	: Middle East Respiratory Syndrome-related Coronavirus
Min	: Minimale
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
Moy	: Moyenne
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ORF	: Open Reading Frame
p	: Probabilité
PCT	: Procalcitonine
Pluvio	: Pluviométrie
r	: Coefficient de corrélation
RBD	: Region Binding Domain
RT-PCR	: Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction
SARS-COV-1	: Severe Acute Respiratory Syndrom Coronavirus 1
SARS-COV-2	: Severe Acute Respiratory Syndrom Coronavirus 2
SRAS	: Severe Respiratory Acute Syndrom
TDR	: Test de diagnostic rapide
Temp	: Température
TNF-α	: Tumor Necrosis Factor α

Vit : Vitesse

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Effectifs de la population, superficies et climat des départements du Bénin 36
Tableau II: Zones météorologiques, superficies et départements correspondants. 39
Tableau III: Aspects opérationnels des variables indépendantes. 41
Tableau IV: Répartition des cas en fonction des zones météorologiques.....49
Tableau V: Statistiques descriptives de l'âge. 50
Tableau VI: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Cotonou. 77
Tableau VII: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Bohicon. 78
Tableau VIII: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Kandi. 78
Tableau IX: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Parakou.....79
Tableau X: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Natitingou.....80
Tableau XI: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Savè. 80
Tableau XII: Résultats des tests d'association entre les saisons et la COVID-19 au Bénin. 81
Tableau XIII: Résultats du modèle de régression linéaire estimant l'effet des mois sur le taux d'incidence au Bénin.....82
Tableau XIV: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Cotonou. 83

Tableau XV: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Bohicon. 83

Tableau XVI: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Savè. 84

Tableau XVII: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Kandi. 84

Tableau XVIII: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Natitingou. 85

Tableau XIX: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Parakou. 85

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Cadre conceptuel de l'étude de la saisonnalité de la COVID-19 au Bénin 6
Figure 2: Carte du cordon sanitaire institué pour la riposte anti-Covid-19 au Bénin. 8
Figure 3: Structure du SARS-CoV-2. 22
Figure 4: Cycle de réplication du SARS-CoV-2. 23
Figure 5: Répartition géographique des cas de COVID-19 à la date du 17 Novembre 2022. 18
Figure 6: Saisonnalité de la COVID-19. 32
Figure 7: Carte des stations météorologiques de METEO-BENIN. 38
Figure 8: Diagramme de flux du traitement des données de la COVID-19. 48
Figure 9: Distribution du taux d'incidence 52
Figure 10: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 au Bénin. 54
Figure 11: Décomposition de la série du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 au Bénin. 55
Figure 12: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de COTONOU 56
Figure 13: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de BOHICON 58
Figure 14: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de PARAKOU 59
Figure 15: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de KANDI 60
Figure 16: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de SAVE. 61
Figure 17: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de NATITINGOU 62

Figure 18: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 en zone tropicale au Bénin 64
Figure 19: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 en zone équatoriale au Bénin 65
Figure 20: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Cotonou. 67
Figure 21: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Bohicon. 68
Figure 22: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Parakou.....70
Figure 23: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Kandi. 71
Figure 24: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Savè. 73
Figure 25: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Natitingou.....74
Figure 26: Représentations graphiques (nuages de points) du taux d'incidence en fonction des paramètres météorologiques.....76

PAR DÉLIBÉRATION, LA FACULTÉ DES SCIENCES DE LA SANTÉ DE COTONOU A ARRÊTÉ QUE LES OPINIONS ÉMISES DANS CETTE THÈSE N'ENGAGENT QUE SON AUTEUR.

SOMMAIRE

INTRODUCTION 1

1. PROBLEMATIQUE 3

2. GENERALITES 11

3. CADRE ET METHODES D'ETUDE 34

4. RESULTATS 47

5. DISCUSSION 86

CONCLUSION 93

SUGGESTIONS 95

REFERENCES 97

TABLE DES MATIERES…. 105

INTRODUCTION

La saisonnalité d'un phénomène s'évalue au travers de l'évolution dans le temps de ce dernier. Elle se définit comme étant son caractère saisonnier, c'est-à-dire sa coutume à ne s'exercer que pendant une certaine période de l'année. Ainsi, la saisonnalité fait référence à la répétition d'une observation d'un phénomène entre des intervalles de temps réguliers, le plus souvent due à des facteurs dits saisonniers. Il existe de nombreuses maladies infectieuses virales respiratoires, telles que celles causées par le virus respiratoire syncytial humain, le virus de la grippe et les coronavirus humains, qui présentent une oscillation saisonnière et sont prévalentes en hiver [1]. En ce qui concerne la grippe, son incidence augmenterait en conditions plus froides et plus sèches [2]. La maîtrise de sa saisonnalité permet de mettre en place des mesures de prévention dont la plus efficace est la vaccination. Ainsi, dans les régions les plus sujettes à des flambées épidémiques, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande l'administration de vaccins dirigés contre les souches de virus circulants aux personnes les plus vulnérables à l'approche des saisons épidémiques [3]. En outre, le Syndrome Respiratoire Aigu Sévère (SRAS), causé par le coronavirus SARS-CoV, est affecté par la température, ce qui rend son évolution saisonnière [4]. La COVID-19, calamité la plus meurtrière du 21è siècle, fut responsable de la plus grande crise qu'a connu l'humanité depuis des décennies. Des études ont été effectuées dans le monde afin de rechercher les facteurs pouvant expliquer son évolution. Parmi ces études, celles s'étant intéressées à l'impact du climat ont montré que divers paramètres météorologiques influenceraient également l'évolution de la COVID-19 [5]. Notre étude s'intéresse à l'association entre l'évolution de la COVID-19 au Bénin et le climat. La présentation de ce travail se fera suivant le plan ci-après : Problématique, Généralités, Cadre et méthodes d'étude, Résultats, Discussion, Conclusion et Suggestions.

1. PROBLEMATIQUE

1.1. Enoncé du problème

La COVID-19 a été déclarée comme pandémie le 11 mars 2020 par l'OMS. En octobre 2022, on compte dans le monde plus de 625 millions de cas confirmés et plus de 6,5 millions de décès. Les mesures de prévention adoptées en vue de freiner sa propagation la rendent responsable de la première crise exogène de l'histoire de la pensée économique, baptisée par le Fond Monétaire International, *The Great Lockdown* et traduit en Français par *Le Grand Confinement* [6]. Au mois d'Octobre 2022, l'OMS distingue cinq variants dits préoccupants, responsables de la maladie [7]. Plus de 150 vaccins sont en phase clinique de leur essai. Cependant, les données des essais cliniques sur la protection à long terme de ces vaccins et contre les multiples variants de la COVID-19 sont limitées [8]. Plusieurs études sont menées dans diverses régions du globe afin de déterminer les facteurs pouvant expliquer l'évolution de la maladie. Outre les caractéristiques intrinsèques du virus, les caractéristiques sociodémographiques, les politiques de santé publique, l'état d'immunité de la population, il a été observé dans certaines régions que les facteurs climatiques exercent une influence sur la propagation du virus [9]. C'est ce qu'ont montré Choi et al en 2020 dans leur étude dans cinq pays dont le Canada, l'Allemagne, l'Inde, l'Ethiopie et le Chili. Tout comme la grippe, la COVID-19 a atteint son pic pendant les mois d'hiver dans les pays au climat tempéré (Canada, Allemagne et Chili), lorsque la température et l'humidité étaient faibles. Mais dans les pays tropicaux, les cas ont atteint leur maximum pendant les moussons d'été, lorsque l'humidité était élevée [10]. Au Nigéria, une étude menée à Lagos révèle une faible relation entre la température atmosphérique et la COVID-19. Elle suggère aussi que la maladie pourrait présenter peu ou pas de saisonnalité, contrairement au Syndrome de Détresse Respiratoire Sévère (SRAS en anglais) ou à la grippe, du moins dans les endroits où les conditions météorologiques sont similaires à celles de cette étude [5]. Au Bénin, pays voisin du Nigéria et dont les conditions climatiques sont similaires,

Saizonou avait réalisé une étude en 2020 sur une période d'un an et dont les résultats montraient l'existence d'une relation entre la COVID-19 et deux paramètres météorologiques qu'étaient la température et l'humidité [11]. Cependant, certains paramètres comme la vitesse du vent et la pluviométrie n'étaient pas évalués. Nous avons donc repris cette étude sur deux années successives afin de rechercher dans un premier temps l'existence d'une évolution saisonnière de la COVID-19 puis dans un deuxième temps, l'association entre quatre paramètres météorologiques (température, pluviométrie, humidité, vitesse du vent) et l'évolution de la COVID-19.

1.2. Question de recherche

Notre étude vise à répondre à la question suivante : Quelle est l'association entre les variations des facteurs climatiques et l'évolution de la COVID-19 au Bénin ?

1.3. Cadre conceptuel

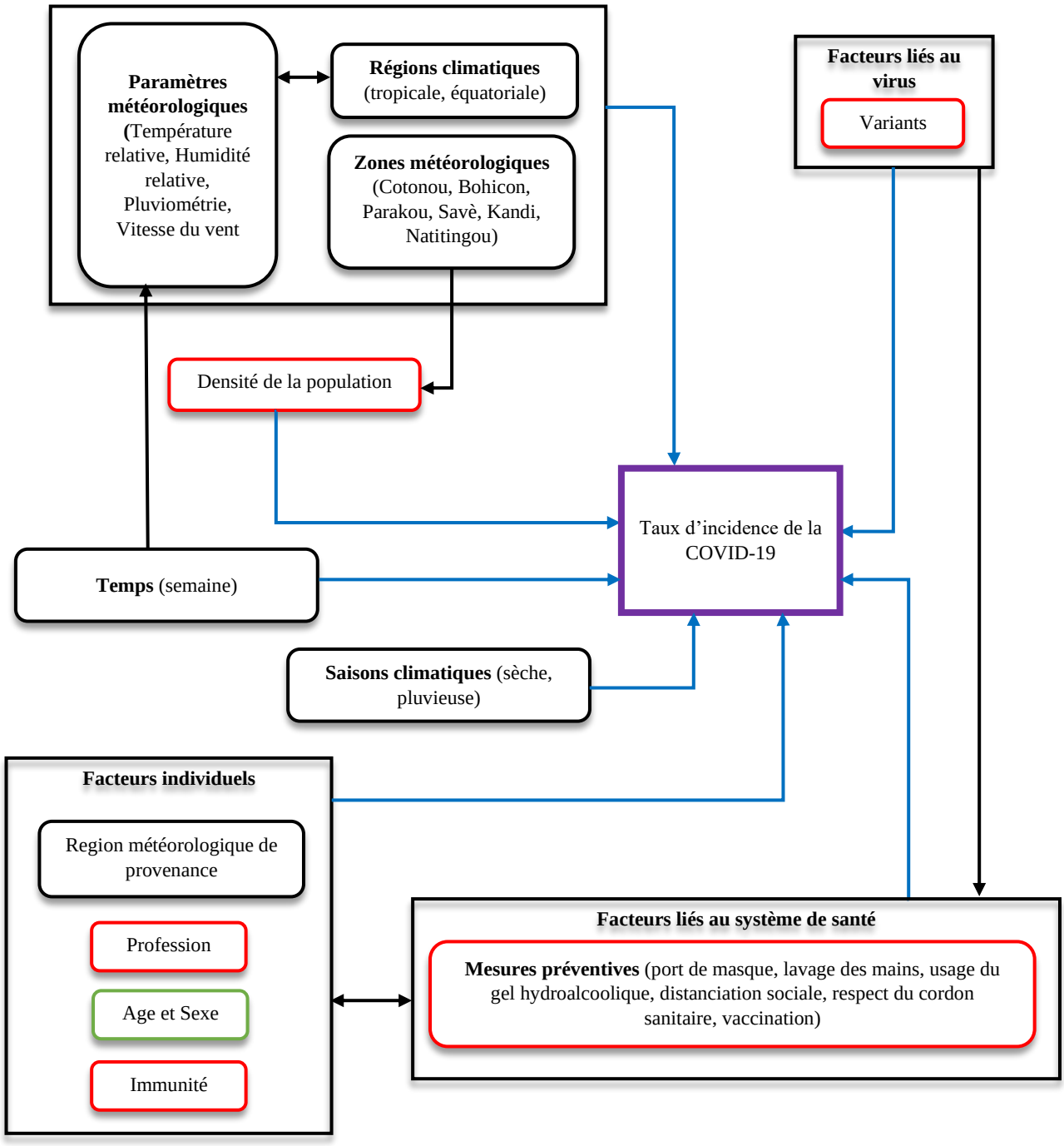
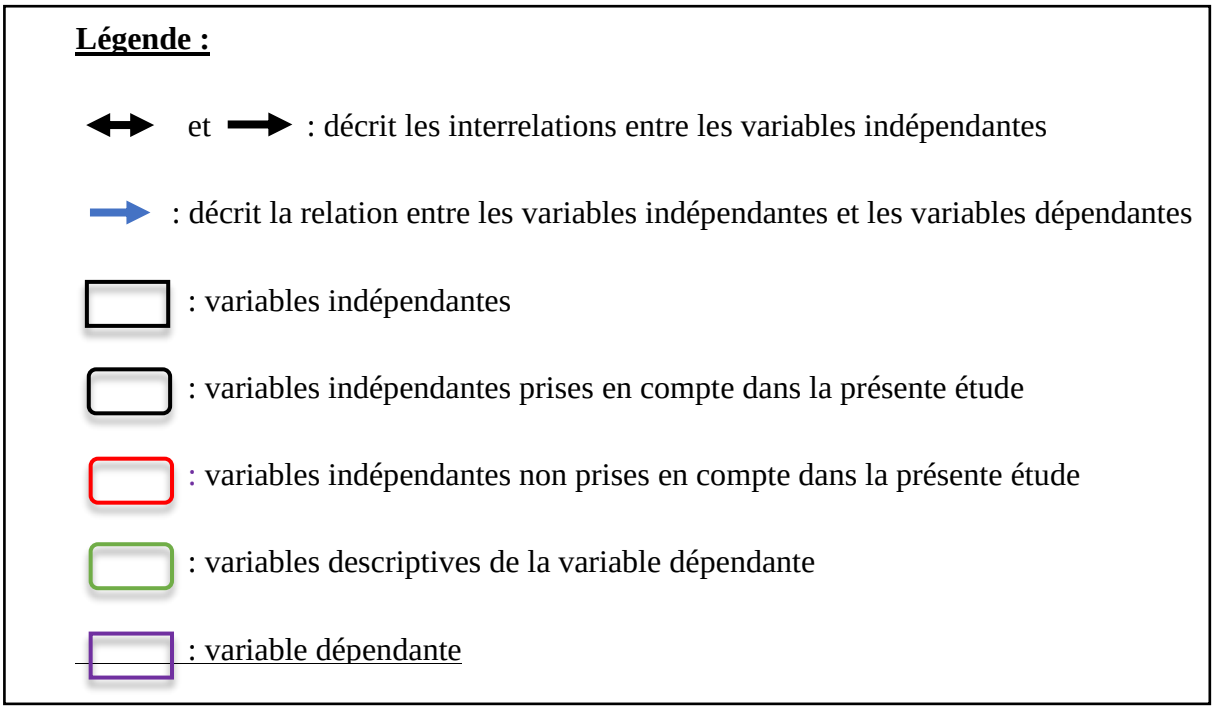


Figure 1: Cadre conceptuel de l'étude de la saisonnalité de la COVID-19 au Bénin



1.4. Description du cadre conceptuel

Dans notre étude, le taux d'incidence était celui utilisé pour décrire l'évolution de la COVID-19 dans le temps. Le taux d'incidence rapporte le nombre de nouveaux cas d'une pathologie observés pendant une période donnée (population incidente) à la population dont sont issus les cas pendant cette même période (population cible). Il est l'un des critères les plus importants pour évaluer la fréquence et la vitesse d'apparition d'une pathologie dans une population. Awounou et al l'avaient utilisé dans leur étude sur la saisonnalité de l'incidence des tumeurs embryonnaires en France [12].

Ce taux d'incidence décrivant l'évolution de la COVID-19 peut être influencé par plusieurs facteurs. Parmi ces derniers, figurent les paramètres météorologiques dont la température, l'humidité, la pluviométrie et la vitesse moyenne du vent. En outre, l'âge y exercerait aussi son influence. En effet, certaines études rapportent des proportions de cas moins élevés chez les enfants [13 ; 14]. L'effet de l'âge en ce qui concerne la contraction de la maladie a cependant été remis en cause par d'autres études qui suggèrent que la faible prévalence observée chez les enfants

pourrait être due à un défaut de dépistage du fait de la grande proportion de cas asymptomatiques dans ce groupe de population [15; 16]. En ce qui concerne le sexe et la profession, une étude à grande échelle fut réalisée sur des données provenant de dix pays européens. Ces données fournissant une répartition détaillée des cas COVID-19 par sexe et par âge montraient que parmi les personnes en âge de travailler, les femmes atteintes de la COVID-19 étaient nettement plus nombreuses que les hommes infectés. Ce schéma s'inversait autour de la retraite avec un taux d'infection chez les femmes qui chutait à l'âge de 60-69 ans, entrainant un croisement avec le taux d'infection chez les hommes [17]. Il a également été observé un plus grand nombre de cas dans les professions de la santé et ceux dans lesquels les contacts physiques sont récurrents [18]. La provenance géographique pourrait également expliquer la distribution des cas en ce sens où certaines régions ayant subi un confinement ou une restriction des déplacements auraient noté une baisse de l'incidence de la maladie. En Chine par exemple, une évaluation initiale des restrictions de mobilité a permis de mettre en évidence une réduction considérablement de l'incidence des cas [19]. Au Bénin, cette même mesure a été appliquée au travers de l'institution d'un cordon sanitaire autour de certaines localités (figure 2) [20].



Figure 2: Carte du cordon sanitaire institué pour la riposte anti-Covid-19 au Bénin.

Ceci pourrait donc influencer l'évolution dans le temps et dans l'espace de la COVID-19 dans cet Etat durant cette période. En dehors de cette mesure intrusive et coûteuse du fait de son impact négatif sur l'économie, d'autres mesures de prévention non médicamenteuses comme le port du masque, le lavage régulier des mains, la distanciation sociale, l'hygiène de la toux et autres ont été prouvées efficaces pour réduire la propagation du virus [21] et de ce fait, influencer le taux d'incidence. Pour ce qui est de la vaccination, d'après notre revue, des études doivent être menées pour évaluer son impact sur l'infectivité du SARS-CoV-2. L'émergence et la transmission de nouveaux variants plus transmissibles, plus virulents et qui échapperaient à nos défenses immunitaires constituent un nouveau défi dans la lutte contre la pandémie de la COVID-19. Ces derniers pourraient être responsables de l'augmentation des indicateurs de surveillance de la pandémie dans diverses régions du monde. De nombreux cas de réinfections ont été observés, par exemple, dans la population française courant début 2022, responsables de nouvelles vagues épidémiques. Ces réinfections étaient attribuées au variant Omicron [22].

1.5. Hypothèses

1. L'évolution du taux d'incidence de la COVID-19 entre le 01er mars 2020 et le 28 février 2022 au Bénin est saisonnière.
2. Les variations périodiques et saisonnières des paramètres météorologiques entre le 01er mars 2020 et le 28 février 2022 sont associées à celles du taux d'incidence de la COVID-19 sur cette même période au Bénin.

1.6. Objectifs de l'étude

L'objectif général de notre étude est d'étudier la saisonnalité de l'évolution de la COVID-19 au Bénin. Afin de vérifier nos hypothèses, nous avons formulé les objectifs spécifiques ci-dessous :

1) Décrire l'évolution du taux d'incidence de la COVID-19 selon les personnes, les lieux et le temps au Bénin.
2) Déterminer l'association entre les variations périodiques et saisonnières des paramètres météorologiques et l'évolution de la COVID-19 au Bénin.

2. GENERALITES

2.1. Définitions des concepts

- **Saisonnalité :** Caractère périodique, saisonnier de quelque chose.
- **Saisonnier :** Phénomène qui n'est actif que pendant une certaine période de l'année.
- **COVID-19 :** Formé à partir des syllabes CO et VI empruntées au mot coronavirus, et de D qui est l'initiale du mot anglais disease, qui signifie « maladie, pathologie ». Le nombre 19 correspond à l'année d'apparition du virus chez l'être humain : 2019. Le mot COVID-19 (Coronavirus Disease 2019) désigne donc la pathologie ou la maladie provoquée par le nouveau coronavirus découvert en 2019, le SARS-CoV-2.
- **Taux d'incidence :** Nombre de nouveau cas d'une maladie dans une population donnée sur une période donnée rapporté à l'effectif de cette même population pendant cette même période. Le plus souvent, il est rapporté à une population de 100000 habitants pendant une période donnée.
- **Température :** Energie cinétique moyenne des molécules ou des atomes qui le composent. La température mesurée en météorologie ne correspond pas à la température physique ressentie. Il s'agit plutôt de la température de l'air sous abri qui est mesurée avec un thermomètre (ou une sonde) placé à 1,5 m du sol dans un abri ajouré.
- **Température relative :** Température mesurée dans une échelle dont le 0 n'est pas le 0 absolu. (Exemple : Celsius est une échelle de mesure dont le 0 correspond à 273,15 Kelvin).
- **Humidité absolue :** Masse de la vapeur d'eau présente dans un volume d'air sec donné ($1m^3$ ou 1kg). Elle n'a, en pratique, qu'une utilité restreinte car elle ne tient pas compte d'une grandeur climatique essentielle : la température.
- **Humidité relative :** Encore appelée degré d'hygrométrie, c'est le rapport entre le poids d'eau contenu dans $1m^3$ d'air sec et le poids d'eau maximum que cet air pourrait contenir à la même température, s'il était saturé.

- **Pluviométrie :** Evaluation quantitative des précipitations, de leur nature (pluie, neige, grésil, brouillard) et de leur distribution afin de classifier le climat des régions.
- **Vent :** En météorologie, mouvement horizontal de l'air, Sa mesure peut être instantanée, moyenne ou correspondre à des rafales. Il fait intervenir deux paramètres : sa vitesse (ou force) et sa direction.
- **Vitesse du vent :** Mesurée en km/h ou en m/s ou en nœuds (1 nœud = 1,852 km/h).

2.2. Revue de littérature

2.2.1. Historique

La COVID-19 est la cinquième pandémie documentée depuis la pandémie de la grippe de 1918. En décembre 2019, une épidémie de pneumonie était apparue dans la ville de Wuhan située dans la province chinoise de Hubei. Quelques semaines plus tard, le 07 janvier 2020, les autorités sanitaires chinoises ont déclaré que cette épidémie était due à un nouveau coronavirus, nommé 2019-nCoV à cette époque. Le 30 janvier 2020, du fait de sa propagation rapide (98 cas enregistrés dans 18 pays en dehors de la Chine), l'OMS l'a déclarée comme étant une Urgence de Santé Publique de Portée Internationale. Le 11 février 2020, le nom officiel de COVID-19 fut attribué à cette nouvelle maladie. La fulgurante croissance du nombre de personnes atteintes, soit plus de 118000 cas reportés dans 114 pays et 4291 décès dans le monde le 11 mars 2020 amena l'OMS a déclaré cette dernière comme étant une pandémie. Ainsi, la COVID-19 est rapidement passé d'un problème grave apparemment confiné à la Chine à une urgence sanitaire mondiale presque du jour au lendemain. Pour freiner la propagation du virus, les autorités sanitaires mondiales et les agences gouvernementales ont mis en place des mesures strictes dans le monde entier. Au cours de l'été 2020, plusieurs pays ont vu une baisse du nombre des cas, des hospitalisations et des décès en raison de ces restrictions que leurs citoyens avaient endurées. Cependant, de nouveaux variants plus évolués ont émergé à partir d'août 2020, ayant relancé à la hausse les indicateurs de surveillance, menant le nombre total de décès, au mois de septembre 2020, à plus d'un million dans le monde. En dehors des mesures de restrictions, une course effrénée à la mise au point de vaccin a également débuté le 17 mars 2020, avec le vaccin Moderna mRNA. Le 31 décembre 2020, l'OMS a émis sa première validation d'utilisation d'urgence pour un vaccin COVID-19, faisant du vaccin Pfizer/BioNTech le premier à pouvoir être utilisé. En Afrique, contrairement aux

prévisions initiales, les données rapportées ont reflété un tableau épidémiologique moins sévère. Le premier cas atteint de la COVID-19 a été signalé le 14 février 2020, en Egypte. Les premiers vaccins ont été administrés en mars 2021 en Côte d'ivoire et au Ghana. Plusieurs variants du virus ont été reportés sur le continent, plus particulièrement le variant Bêta ayant émergé en Afrique du Sud. Il faut noter l'existence d'une grande hétérogénéité de l'épidémie entre les différents pays d'Afrique, la plupart des cas ayant été enregistré dans les pays du nord et du sud. En Afrique de l'Ouest et plus précisément au Bénin, le premier cas fut confirmé le 16 mars 2020. Il s'agissait d'un burkinabé de 49 ans venu au Bénin le 12 mars 2020 après un séjour en Belgique et au Burkina Faso. À la suite de l'annonce du premier cas de maladie à coronavirus, des mesures de prévention ont été édictées par les autorités pour limiter les risques de propagation de la maladie en raison de sa forte capacité de contagion. À la suite de la réunion du Comité gouvernemental de suivi de la pandémie de Covid-19, le lundi 23 mars 2020, sous la présidence du Chef de l'État Patrice Talon, de nouvelles mesures ont été prises pour éviter sa progression au Bénin. Parmi elles, la mesure la plus phare était notamment l'établissement d'un cordon sanitaire autour de 10 communes les plus exposées à la pandémie à savoir, Cotonou, Abomey-Calavi, Allada, Ouidah, Tori, Zè, Sèmè-Podji, Porto-Novo, Akpro-Missérété et Adjarra dès le lundi 30 mars 2020. Il était interdit l'entrée et la sortie de l'espace du cordon sanitaire sauf dérogation des préfets. À la suite de la réunion du comité gouvernemental de suivi de la pandémie de la COVID-19 au Bénin le lundi 6 avril 2020 en visioconférence, sous la présidence du Chef de l'État, le gouvernement a décidé de rendre obligatoire dans les dix (10) communes du cordon sanitaire et même dans les autres régions du pays le port du masque de protection en tous lieux dans l'administration publique comme privée, dans les réunions, quel que soit le nombre de personnes présentes à partir du mercredi 8 avril 2020. Le premier cas à Parakou, une ville du nord du pays, fut confirmé le 28 avril 2020. Précédemment obligatoire seulement pour les populations des communes retenues dans le cordon

sanitaire, le port de masque de protection contre la COVID-19 est rendu obligatoire sur toute l'étendue du territoire national à partir du 28 avril conformément au communiqué du lundi 27 avril. Après 6 semaines de mesures prises pour éviter la progression du virus dans le pays, le gouvernement avait jugé qu'il s'avérait nécessaire de favoriser le retour progressif au cours normal de la vie et des activités économiques, en faisant l'option d'assouplir la limitation de la mobilité des personnes en levant le cordon sanitaire mis en place et en autorisant la reprise des classes dans les établissements d'enseignement, de formation et de recherche, ainsi que les universités, conformément au calendrier scolaire réaménagé et publié le 8 avril 2020. Ainsi, le Conseil des Ministres en sa session du 6 mai 2020, avait décidé de la reprise des cours pour les écoliers du Cours Moyen 2ème année (CM2), les élèves des collèges et lycées et les étudiants, dès le 11 mai 2020 pour maintenir la tenue des examens de fin d'année. Les cours dans les universités se poursuivaient via une plate-forme d'enseignement à distance. Les écoliers des classes de Cours d'Initiation (CI) au Cours Moyen 1ère année (CM1), quant à eux, reprendraient les classes du 10 août au 4 septembre 2020 et subiraient leurs évaluations du 7 au 11 septembre 2020. La rentrée scolaire 2020-2021 était fixée au 28 septembre 2020 pour tous les apprenants. Les écoles maternelles et les garderies étaient maintenues fermées jusqu'à la prochaine rentrée des classes. La levée du cordon sanitaire s'accompagnerait de l'organisation progressive des dépistages de masse à commencer par les groupes les plus exposés. Toutes les autres mesures barrières avaient été maintenues en vigueur. Le 23 décembre 2020, le conseil avait marqué son accord pour la reprise des activités sportives et culturelles dans le respect des mesures barrières. Le 10 mars 2021, le Bénin avait reçu ses premières doses de vaccin contre la COVID-19. La campagne nationale de vaccination avait été officiellement lancée le 30 mars 2021. En raison de la recrudescence des cas graves de la COVID-19, les manifestations culturelles et festives étaient interdites sur toute l'étendue du territoire national à compter du mercredi 25 août 2021. La vaccination contre la

COVID-19 était devenue obligatoire pour le personnel médical, paramédical, pharmacien, aide-soignant, administratif des formations sanitaires publiques et privées, et des officines pharmaceutiques. Le 01er septembre, la décision de la fermeture des discothèques et structures assimilées était prise ainsi que l'interdiction de rassemblements festifs dans les endroits publics, y compris les plages. Les événements et manifestations à caractère culturel, festif, sportif et religieux étaient suspendus. Les compétitions à caractère international pouvaient toutefois se dérouler à huis clos. Le 15 novembre 2021, le Gouvernement avait lancé deux mois de campagne accélérée de vaccination qui était ensuite prorogée jusqu'au 31 mars 2022.

2.2.2. Epidémiologie descriptive

2.2.2.1. Ampleur et gravité

Au mois d'octobre 2022, le monde compte plus de 625 millions de cas confirmés. Au Bénin, l'on recense en cette même période sur le site officiel du gouvernement plus de 26000 cas confirmés. Ces statistiques ne pourraient toutefois être le reflet de la prévalence réelle de la COVID-19 en raison d'un défaut de dépistage de la population. En ce qui concerne la mortalité dans le monde, plus de 6,5 millions de décès ont été enregistrés en octobre 2022. L'Afrique reste le continent le moins touché avec plus de 174 mille décès enregistrés, dont 163 décès au Bénin [23].

2.2.2.2. Répartition géographique



Source: *COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU)*

Figure 3: Répartition géographique des cas de COVID-19 à la date du 17 Novembre 2022.

2.2.1. Epidémiologie analytique

2.2.1.1. Pathogène

Le SARS-CoV-2 est le neuvième coronavirus documenté qui infecte les humains et le septième identifié au cours des 20 dernières années [24]. Selon sa taxonomie, le SARS-CoV-2 appartient au royaume des Riboviria, à l'ordre des Nidovirales, au sous-ordre des Cornidovirineae, à la famille des Coronaviridae, à la sous-famille des Orthocoronavirinae, au genre Betacoronavirus (lignée B), au sous-genre Sarbecovirus et à l'espèce Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus [25].

2.2.1.2. Origine

Comme la plupart des virus humains, tous les coronavirus sont connus pour avoir une origine zoonotique. Le SARS-CoV-2 semble bien s'y conformer. Les plus proches parents connus du SARS-CoV-2 sont des virus provenant de chauves-souris du Yunnan. Cependant, il existe un écart géographique considérable entre le Yunnan et la localisation des premiers cas humains, ce qui souligne la difficulté d'identifier la voie exacte d'émergence du virus et l'importance de l'échantillonnage au-delà du Yunnan [24]. D'après les données épidémiologiques, deux des trois premiers cas documentés de la COVID-19 étaient directement liés au marché Huanan de Wuhan où il s'y vendait des animaux sauvages. De même, 28 % de tous les cas signalés en Chine, en décembre 2019, étaient associés à ce marché [7]. Il n'existe aucun lien épidémiologique avec une autre localité de Wuhan, y compris l'Institut de virologie de Wuhan (WIV) situé au sud du Yangtze ayant fait l'objet de nombreuses spéculations [24]. Au cours de l'année 2019, le marché Huanan a commercialisé plusieurs milliers d'animaux sauvages vivants, y compris des espèces à haut risque comme les civettes et les chiens viverrins. Il est possible que ces animaux déplacés via des chaines d'approvisionnement

partagées et vendus pour la consommation humaine aient été infectés [26]. Par ailleurs, des virus étroitement apparentés au SARS-CoV-2 ont été documentés chez des chauves-souris et des pangolins dans de multiples localités d'Asie du Sud-Est, notamment en Chine, en Thaïlande, au Cambodge et au Japon [27] avec des preuves sérologiques d'infection virale chez les pangolins depuis plus d'une décennie. Cependant, un écart évolutif important existe entre le SARS-CoV-2 et les virus animaux les plus proches : par exemple, le virus de la chauve-souris RaTG13 collecté par le WIV présente une distance génétique d'environ 4 % (environ 1 150 mutations) par rapport à la séquence de référence Wuhan-Hu-1 du SARS-CoV-2, ce qui reflète des décennies de divergence évolutive. Ces données démontrent au-delà de tout doute raisonnable que RaTG13 n'est pas le progéniteur du SARS-CoV-2, avec ou sans manipulation en laboratoire ou mutagenèse expérimentale. Pour le moment, aucun réservoir de chauve-souris ou hôte animal intermédiaire pour le SARS-CoV-2 n'a été identifié à ce jour [24]. Le pangolin reste suspect d'être l'hôte intermédiaire ayant favorisé la transmission de la chauve-souris à l'homme.

2.2.1.3. Génome

Le SARS-CoV-2 est un virus à ARN positif d'une longueur d'environ 29,9 kb codant pour 27 protéines. Il partage une identité de séquence de 79,5% avec le SARS-CoV-1 et de 96% avec la souche BatCov RaTG13, son plus proche parent isolé chez les chauves-souris fer à cheval. Il possède un total de 11 gènes avec 11 cadres de lecture ouverts (ORF) : ORF1ab, ORF2 (protéine de pointe), ORF3a, ORF4 (protéine d'enveloppe), ORF5 (protéine de membrane), ORF6, ORF7a, ORF7b, ORF8, ORF9 (protéine de noyau) et ORF10 [28]. Ces gènes sont répartis en deux régions principales : la première correspondant à ORF1ab est utilisée pour traduire la polyprotéine 1a/1b qui code pour 16 protéines non structurelles ; la deuxième région code pour quatre protéines structurelles principales (les

protéines de pointe S, de la membrane M, de l'enveloppe E et de la nucléocapside N) et pour des protéines accessoires [29].

2.2.1.4. Structure

Le virion du SARS-CoV-2 a une forme sphérique et un diamètre d'environ 50 à 200 nm [30]. De sa surface, émane des pointes en forme de massue lui donnant l'apparence d'une couronne solaire. Les particules du SARS-CoV-2 contiennent quatre protéines principales. Il s'agit des protéines de pointe (S), de membrane (M), d'enveloppe (E) et de nucléocapside (N). La protéine N contient le génome viral et les protéines S, E et M créent ensemble l'enveloppe virale [24]. La protéine S permet de se lier au récepteur de la cellule hôte et de fusionner les membranes des virus et des cellules hôtes. La protéine M permet l'assemblage des particules virales [31]. La protéine d'enveloppe E interagit avec une protéine liée à la jonction serrée, appelée PALS1. La protéine de la nucléocapside N renferme le génome viral dans un complexe ribonucléoprotéique et joue un rôle dans la réplication du génome viral et la voie de signalisation cellulaire [29; 32].

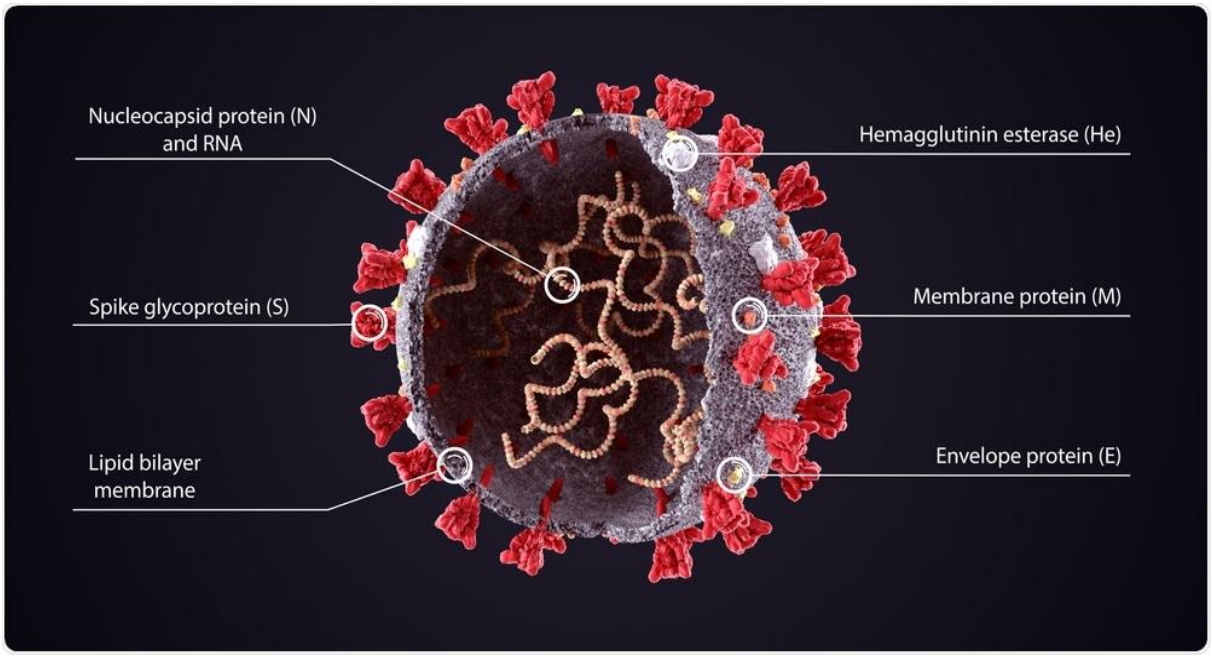


Figure 4: Structure du SARS-CoV-2.

2.2.1.5. Cycle de réplication

Après sa pénétration dans l'organisme, le SARS-CoV-2 a un cycle de vie qui suit cinq étapes : l'attachement, la pénétration, la biosynthèse, la maturation et la libération. Les premières étapes de l'infection impliquent la liaison spécifique de la protéine S au récepteur d'entrée cellulaire, l'enzyme de conversion de l'angiotensine 2 (ACE2). La figure 4 présente les différentes étapes du cycle de réplication.

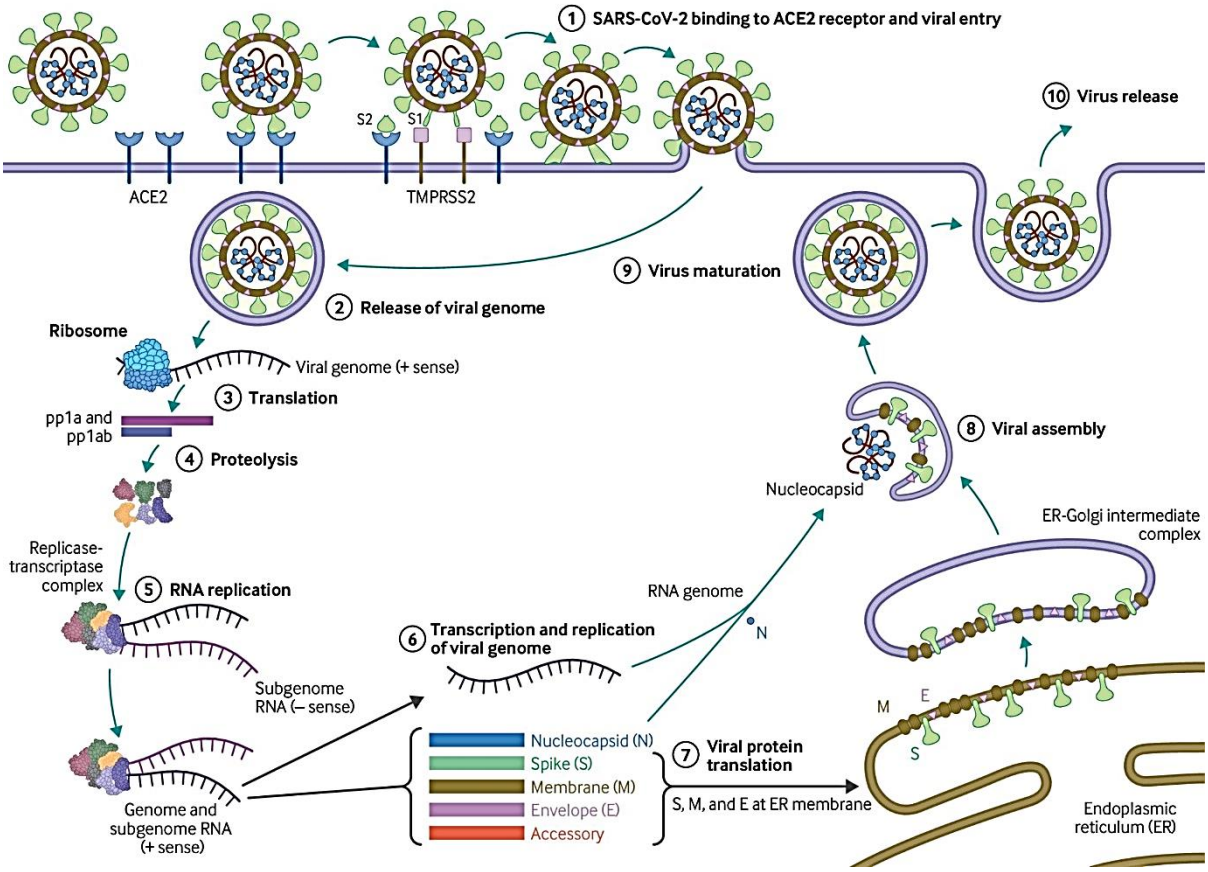


Figure 5: Cycle de réplication du SARS-CoV-2.

2.2.1.6. Variants

Depuis l'avènement de la COVID-19, plusieurs variants du SARS-CoV-2 ont été identifiés dans plusieurs pays du monde. Ils sont regroupés en divers groupes selon l'attention qui leur est accordé du fait de certaines de leurs propriétés. Ainsi, on distingue des variants préoccupants (en anglais, *variants of concern VOC*), des variants à suivre (en anglais, *variants of interest VOI*) et des variants sous surveillance (en anglais, *variants under monitoring VUM*). A la date du 23 Mai 2022, cinq (05) variants préoccupants sont identifiés : Delta, Omicron, Alpha, Bêta, Gamma [7]. Aucune étude de séquençage du génome de ces variants n'aurait été réalisée au Bénin afin de déterminer lesquels y sont présents. D'après

nos recherches bibliographiques, aucune notion de saisonnalité n'a été associée aux variants de la COVID-19.

2.2.1.7. Voies de transmission

La maladie causée par le SARS-CoV-2 affecte principalement le système respiratoire et se transmet essentiellement d'une personne à l'autre par les particules respiratoires provenant d'activités telles que la toux et les éternuements. La majorité de la transmission se fait par contact étroit avec des porteurs présymptomatiques, asymptomatiques ou symptomatiques. La transmission par des procédures générant des aérosols et la contamination de surfaces inanimées par le SARS-CoV-2 ont également été impliquées dans la propagation de la COVID-19. Des données épidémiologiques provenant de plusieurs études de cas ont rapporté que les patients atteints d'une infection par le SARS-CoV-2 ont le virus vivant présent dans les selles, ce qui implique une possible transmission féco-orale. Une méta-analyse incluant 936 nouveau-nés de mères atteintes du COVID-19 a montré que la transmission verticale est possible mais qu'elle se produit dans une minorité de cas [33].

2.2.1.8. Facteurs favorisants

Plusieurs facteurs ont été identifiés comme étant susceptibles d'augmenter le risque de contracter la COVID-19. Parmi les facteurs individuels, nous avons l'âge, le sexe, le statut immunitaire, la provenance. La profession serait également impliquée. Les agents de santé seraient à risque de se faire contaminer à cause du contact avec les patients et de certaines pratiques susceptibles de produire des aérosols comme l'intubation trachéale, l'aspiration des voies aériennes, la ventilation non invasive, la ventilation manuelle, la trachéotomie, la réanimation cardio-pulmonaire et la manipulation des masques à oxygène chez les personnes atteintes de COVID-19. D'autres facteurs de l'environnement peuvent également

être cités : les endroits peu ventilés, le contact avec des animaux, une mauvaise hygiène, les prisons, les maisons de retraite, les dortoirs, les mauvaises conditions de vie, le chômage [34]. En ce qui concerne les facteurs liés au système de santé, on distingue un personnel non formé, des capacités de dépistage et de diagnostic insuffisantes (laboratoires, kits de dépistage, scanner, IRM), une insuffisance du matériel de protection et de décontamination (PCI), la faible résilience des systèmes hospitaliers, la réorganisation insuffisante pour la mise en œuvre des mesures de prévention, les capacités de prise en charge des formes sévères limitées [35]. Par ailleurs, des facteurs météorologiques ont également été décrits. En effet, de nombreux virus ne pouvant vivre seuls dans l'air, ils se propagent grâce aux particules en suspension dans l'air (vapeur d'eau, particules fines, etc.) puis se déposent sur les surfaces. Les aérosols qui peuvent contenir ces virus sont susceptibles de rester jusqu'à plusieurs heures en suspension dans l'air. Ils sont météo-dépendant. Lorsque la température est inférieure à 3°C, l'air ne contient pas assez de vapeur d'eau pour favoriser la propagation. A contrario, lorsqu'il fait trop chaud, les gouttelettes s'évaporent plus rapidement et sont donc contaminantes moins longtemps. Lorsque l'air est très humide, les gouttelettes qui contiennent la charge virale s'agrègent à l'humidité ambiante, elles deviennent plus lourdes et chutent plus rapidement. Lorsque l'air est très sec, il y a moins de gouttelettes susceptibles de supporter la charge virale. Lorsque l'air est en zone intermédiaire, les gouttelettes restent en suspension et elles se propagent mieux. Une étude réalisée par le Massachusetts Institute of Technology (MIT) au mois de mars 2020 montre que 90 % des infections se seraient produites dans des régions où la température se situe entre 3 et 17 degrés et où l'humidité absolue se situe entre 4 et 9 g/m^3, 35 à 85 % d'humidité relative [36].

2.2.1.9. Rappels physiopathologiques

Le SARS-CoV-2 pénètre dans les cellules de l'hôte en liant sa protéine S (S1) aux récepteurs de l'enzyme de conversion de l'angiotensine 2 (ACE2) présents en abondance sur les épithéliums respiratoires tels que les cellules épithéliales alvéolaires de type II. Outre l'épithélium respiratoire, les récepteurs ACE2 sont également exprimés par d'autres organes tels que l'œsophage supérieur, les entérocytes de l'iléon, les cellules du myocarde, les cellules tubulaires proximales du rein et les cellules urothéliales de la vessie. Deux phases expliquent la pathogénèse, une phase précoce caractérisée par la réplication virale suivie d'une phase tardive où les cellules hôtes infectées déclenchent une réponse immunitaire avec le recrutement de lymphocytes T, de monocytes et de neutrophiles qui libèrent des cytokines, et le recrutement de neutrophiles qui libèrent des cytokines telles que le facteur de nécrose tumorale-α (TNF α), le facteur de stimulation des colonies de granulocytes-macrophages, l'interleukine-1, l'interleukine-6 (IL-6) et l'interféron-γ. Comme on l'observe dans les cas graves de COVID-19, la suractivation du système immunitaire entraîne une tempête de cytokines caractérisée par la libération de taux élevés de cytokines, en particulier d'IL-6 et de TNF-α, dans la circulation, provoquant une réponse inflammatoire locale et systémique. Bien que le système respiratoire soit la cible prédominante du SARS-CoV-2, comme décrit ci-dessus, il peut affecter d'autres systèmes organiques majeurs tels que le tractus gastro-intestinal, les systèmes hépatobiliaire, cardiovasculaire, rénal et le système nerveux central. Le dysfonctionnement des organes induit par le SARS-CoV-2, en général, peut s'expliquer par l'un ou l'autre des mécanismes proposés ou par une combinaison de ceux-ci, comme la toxicité virale directe, les lésions ischémiques causées par la vascularite, la thrombose ou la thrombophlébite, la dysrégulation immunitaire et la dysrégulation du système rénine-angiotensine-aldostérone [37].

2.2.1.10. Rappels cliniques

La période d'incubation médiane du SARS-CoV-2 est estimée à 5,1 jours. La majorité des patients développent des symptômes dans les 11,5 jours suivant l'infection. On estime que 17,9% à 33,3% des patients infectés resteront asymptomatiques [38]. Les patients infectés par le SARS-CoV-2 peuvent présenter toute une gamme de manifestations cliniques allant de l'absence de symptômes à une maladie grave associée à une insuffisance respiratoire, un choc septique et une défaillance de plusieurs organes. Nitin et al. regroupent les principales manifestations de la COVID-19 en trois grands groupes :

- les symptômes les moins courants qui comprennent, les maux de gorge, les céphalées, les myalgies, les frissons, les tremblements répétés, etc.
- les symptômes les plus courants tels que l'asthénie, une toux d'aggravation progressive, la dyspnée, l'agueusie, l'hémoptysie, une fièvre légère qui augmente progressivement, la diarrhée.
- les symptômes critiques comme une somnolence excessive, une douleur thoracique à type de pression persistante, une cyanose, une détresse respiratoire, une altération de l'état de conscience, etc.

Plusieurs études réalisées en Afrique plus précisément au Burkina-Faso [39], en Algérie [40], en Guinée-Conakry [41], au Ghana [42] et au Nigéria [43] ont rapportés des manifestations similaires.

2.2.1.11. Rappels paracliniques

2.2.1.11.1. Signes biologiques

Rodriguez-Morales et al. ont rapporté les anomalies observées dans les analyses sanguines des patients Covid-19 dans une méta-analyse regroupant 19 publications scientifiques : une hypoalbuminémie, une élévation du taux de la protéine C-réactive et de la lactate déshydrogénase, une lymphopénie [44]. Ketfi

et al. ont rapporté, en Algérie, dans leur étude des anomalies semblables : un syndrome inflammatoire biologique (90,1%), une basocytémie (70,8%), une lymphopénie (53,3%), une augmentation de la lactate déshydrogénase (52,2%), une anémie (38,7%), une augmentation de la phosphokinase (28,8%) et une cytolyse hépatique (27,6%) [38]. La présence d'anomalies plus marquées dans les paramètres suivants était fortement associée à l'évolution vers une forme grave : globules blancs, neutrophiles, lymphocytes, protéine C-réactive, procalcitonine, D-dimères, lactate déshydrogénase, ferritine, créatinine, aspartate aminotransférase et alanine aminotransférase, tant à l'admission qu'à l'hospitalisation [45; 46].

2.2.1.11.2. Signes à l'imagerie

La tomodensitométrie thoracique a aussi joué un rôle majeur dans la prise en charge initiale des patients. Elle permet non seulement une évaluation de l'importance de l'atteinte pulmonaire, mais aussi une bonne valeur prédictive négative pour le diagnostic de la Covid-19 en absence d'éléments biologiques. Il est important de garder à l'esprit que la sensibilité de la tomodensitométrie thoracique est globalement faible les trois premiers jours de la maladie. Les signes radiologiques caractéristiques de la Covid-19 sont les suivants : des opacités en verre dépoli, non systématisées, multifocales, bilatérales, et asymétriques, de localisation sous pleurale à prédominance basale et postérieure. L'évolution des images en verre dépoli se fait vers un aspect de *crazy paving* : apparition secondaire de réticulations intra lobulaires (dont le pic se situe vers le dixième jour) et de condensations linéaires. Dans les formes graves, la proportion de condensation pulmonaire versus verre dépoli est plus élevée. Curieusement, il n'y pas de parallélisme strict entre la survenue de symptômes et celle des signes radiologiques, puisqu'il a été constaté la présence de signes radiologiques

caractéristiques de la Covid-19 chez des patients ayant une infection asymptomatique [40].

2.2.2. Prévention

Le but principal de la prévention est que tous les pays maîtrisent la pandémie en ralentissant la transmission et en réduisant la mortalité associée à la COVID-19. Au Bénin, les mesures de prévention étaient nombreuses.

- restriction de la délivrance des visas d'entrée au Bénin ;
- mise en quarantaine systématique et obligatoire de toute personne venant au Bénin par voie aérienne ;
- suspension de toutes les missions à l'extérieur du pays pour les membres du gouvernement et pour les cadres de l'administration publique, sauf en cas d'urgence absolue ;
- suspension de toutes les manifestations et tous autres événements non essentiels à caractère sportif, culturel, religieux, politique et festif ;
- suspension des préparatifs pour le pèlerinage à la Mecque ;
- obligation pour les conducteurs de transport en commun de doter leurs employés ainsi que leurs passagers en masques ou bavettes appropriés, et de respecter les distances de sécurité sanitaire entre occupants ;
- recommandation aux personnes éplorées de limiter au strict minimum les obsèques de leurs défunts et de différer les manifestations subséquentes ;
- recommandation aux responsables religieux de faire respecter, lors des cultes, la distance de sécurité sanitaire d'au moins un mètre entre fidèles, d'éviter les poignées de mains, les accolades et tous autres gestes à risque de contamination ;
- obligation pour les banques, supermarchés, bars, restaurants, entreprises et autres établissements recevant du public, de prévoir des mesures de

protection et d'hygiène, et de faire observer par les clients et usagers, la distance de sécurité sanitaire entre eux ;

- mise à disposition par l'État, au profit des pharmacies, supermarchés et autres structures, de stocks de masques de protection ;
- recommandation aux populations de se laver régulièrement les mains à l'eau et au savon ou utiliser un gel désinfectant ;
- ne pas se serrer les mains, s'embrasser ou faire des accolades, porter des masques lorsqu'on est en contact avec la société ;
- recommandation de tousser dans un mouchoir ou dans le creux de son bras puis jeter le mouchoir ;
- limitation des entrées et sorties aux frontières terrestres à l'extrême nécessité. Des mesures de renforcement du contrôle seront appliquées pour la mise en quarantaine systématique de toute personne suspecte ou qui tenterait de contourner le dispositif ;
- interdiction de regroupement de plus de dix (10) personnes en tous lieux à l'exception des espaces marchands, avec obligation de respecter une distance d'un mètre (1) minimum entre personnes ;
- interdiction aux taxis-motos de transporter plus d'une personne à la fois
- fermeture des bars, discothèques, et autres lieux de réjouissance ;
- suspension du transport en commun de personnes à partir de cette même date ; seul le transport des marchandises est autorisé ;
- réduction des déplacements sur toute l'étendue du territoire national, au minimum nécessaire ;
- obligation de respecter une distance d'un (1) mètre au minimum entre usagers de restaurants et maquis ;
- obligation pour les employeurs, sur les lieux de travail, d'installer le dispositif de lavage des mains et de faire respecter la distance d'un (1) mètre minimum entre personnes ;

- limitation du nombre de passagers à bord des taxis et embarcations à trois (03) au maximum ;
- prescription aux usagers des espaces marchands (boutiques, magasins, supermarchés, marchés ordinaires et autres) d'observer la distance d'au moins un (1) mètre entre personnes ;
- interdiction aux personnes âgées de plus de 60 ans et celles porteuses d'affections chroniques, de procéder à leur auto-isolement, sauf cas de force majeure ;
- les cérémonies d'inhumation dans la stricte intimité familiale et ne regroupant pas plus de dix (10) personnes, lesquelles doivent respecter la distance d'un (1) mètre minimum entre elles.

En ce qui concerne la vaccination, quatre (04) vaccins sont disponibles au Bénin pour assurer la prévention primaire anti-COVID-19. Il s'agit du vaccin COMIRNATY Pfizer-BioNTech du laboratoire BioNTech-Pfizer, du vaccin Janssen du laboratoire Janssen, du vaccin AstraZeneca du laboratoire AstraZeneca de l'Université d'Oxford et du vaccin Coronavac du laboratoire SINOVAC Biotech. [47].

2.2.3. Saisonnalité

Beaucoup de virus respiratoires, une fois qu'ils sont installés chez l'homme, prennent une saisonnalité, d'après les propos du Professeur Bruno Lina, professeur de virologie au CHU de Lyon. Choi et al. ont étudié les données sur la prévalence de COVID-19 et certains paramètres météorologiques entre le 1er mars 2020 et le 13 mars 2021 dans cinq pays (Canada, Allemagne, Inde, Éthiopie et Chili). Ils y rapportent que, tout comme la grippe, la COVID-19 a atteint son pic pendant les mois d'hiver dans les pays au climat tempéré (Canada, Allemagne et Chili) lorsque la température et l'humidité étaient plus basses. Cependant, dans les pays à climat tropical, les cas ont atteint leur pic pendant les moussons d'été,

lorsque l'humidité était élevée. La figure 6 illustre la saisonnalité de la COVID-19.

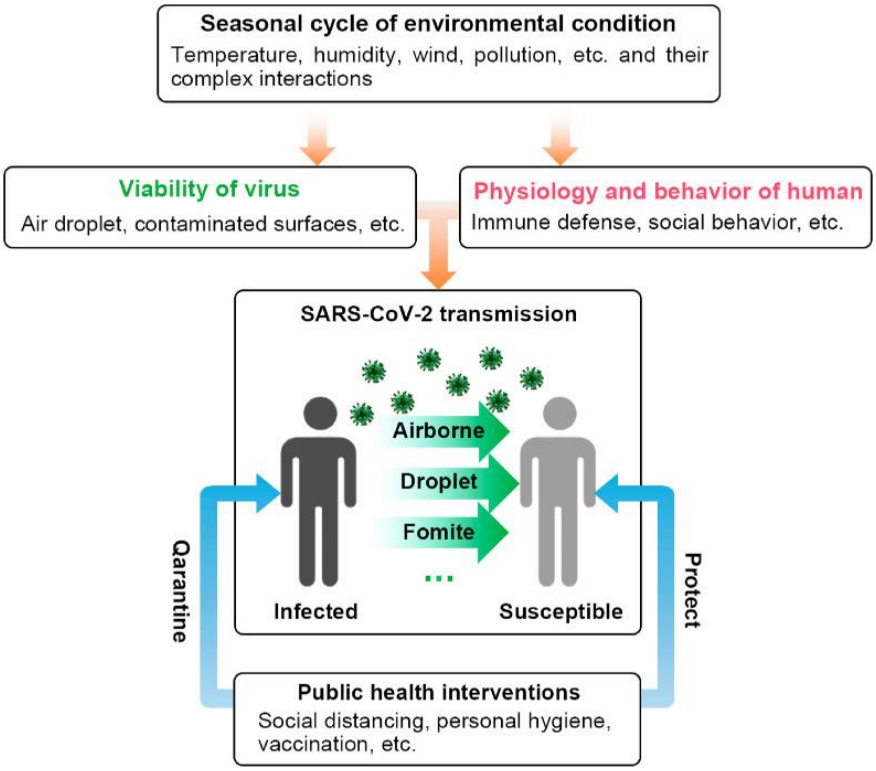


Figure 6: Saisonnalité de la COVID-19

2.2.4. Surveillance épidémiologique

La surveillance épidémiologique est une activité de santé publique qui a pour objectifs de collecter, de façon continue, des informations sur les événements de santé, d'analyser ces informations pour construire des indicateurs chiffrés et de les cartographier, puis de diffuser ces résultats, afin de produire une aide aux décideurs dans le domaine de la santé humaine et animale. Au niveau mondial, des plateformes de suivi ont été mise en place par des organisations internationales (OMS, CDC), des commissions de suivi ont été créées. Chaque pays dispose de ce fait d'un système de suivi de l'évolution de la COVID-19 au niveau de sa population et les données sont diffusées afin de tenir en alerte toute flambée épidémique. L'OMS a également mis à disposition de ses états membres

un document aidant à la surveillance de la prévalence relative et à la détection des variants du SARS-CoV-2 [48]. Au Bénin, le suivi épidémiologique repose essentiellement sur le dépistage et la signalisation des cas [47].

3. CADRE ET METHODES D'ETUDE

3.1. Cadre d'étude

3.1.1. Présentation du Bénin

Notre étude s'est effectuée au Bénin, un Etat situé en Afrique de l'Ouest dans la zone tropicale entre l'équateur et le tropique du Cancer (entre les parallèles 6°30' et 12°30' de latitude nord et les méridiens 1° et 30°40' de longitude est). Il est limité au Nord par le Niger (sur 277 km dont 120 km délimité par le fleuve Niger), au Nord-ouest par le Burkina Faso (sur 386 km), à l'Ouest par le Togo (sur 651km), à l'Est par le Nigéria (sur 809 km) et au Sud par l'Océan Atlantique (sur 121 km), Du nord au sud, il s'étend sur 700 km. La largeur varie de 125 km (le long de la côte) à 325 km (à la latitude Tanguiéta-Ségbana). Le Bénin couvre une superficie de 114 763 km^2. Depuis le 15 janvier 1999, le Bénin est subdivisé en douze départements (Tableau I). Le Bénin possède deux (02) types de climat : au sud, un climat équatorial avec une forte humidité où on y observe une alternance de saisons sèches (de novembre à mars et de mi-juillet à mi-septembre) et de saisons des pluies (d'avril à mi-juillet et de mi-septembre à octobre) ; au centre et au nord, un climat tropical avec une saison sèche de novembre à avril et une saison des pluies de juin à septembre.

Tableau I: Effectifs de la population, superficies et climat des départements du Bénin

Départements	Superficie (km^2)	Population*		
		2020	2021	2022
Alibori	26242	1059159	1088923	1119349
Atacora	20499	942920	969418	996505
Atlantique	3233	1707216	1755192	1804235
Borgou	25856	1482579	1524242	1566832
Collines	13931	876028	900646	925812
Couffo	2404	910034	935607	961750
Donga	11126	663153	681789	700839
Littoral	79	829063	852361	876178
Mono	1605	607126	624187	641628
Plateau	3264	759907	781261	803091
Ouémé	1281	1343576	1381333	1419930
Zou	5243	1039766	1068985	1098854
Bénin	**114763**	**12220527**	**12563944**	**12915003**

* Effectif des années 2020, 2021 et 2022 selon les projections du RGPH4

Climat : Equatorial Tropical

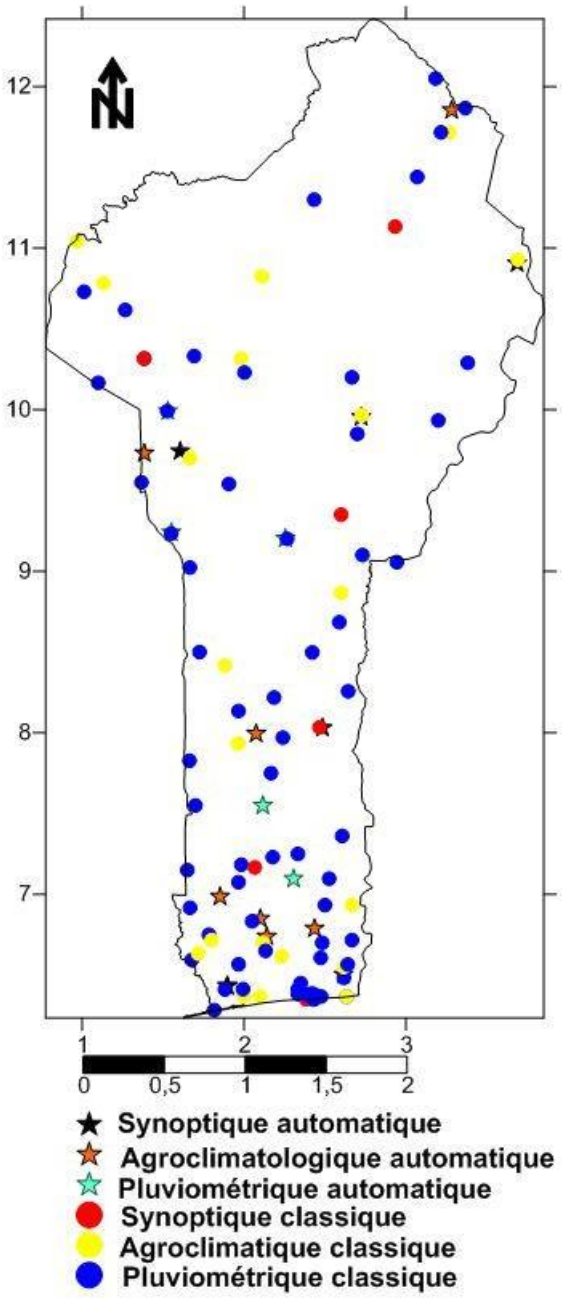
L'harmattan, vent chaud et sec en provenance du Sahara, souffle sur toute l'étendue du territoire pendant la saison sèche. La population du Bénin est estimée à plus de 12 millions d'habitants en 2022 selon les projections du RGPH4. La capitale administrative est Porto-Novo, une ville du département de l'Ouémé. Celle économique et politique est Cotonou, située dans le département du Littoral. En ce qui concerne les principales activités économiques menées, plus de neuf entreprises sur dix (98,5%) sont concentrées dans l'économie informelle sur le plan national (INSAE, 2010). On y retrouve entre autres beaucoup de

commerçants favorisant ainsi un brassage entre les populations. La pratique de cette activité décuple le risque de contamination en cas d'épidémie (telle que la COVID-19). Le salaire minimum est de 40 000 FCFA, ce qui rend peu efficaces, voire contre-productives certaines mesures de lutte tel le confinement.

3.1.2. Présentation du réseau d'observation météorologique du Bénin

Au Bénin, la responsabilité de la fourniture d'informations sur le temps et le climat incombe à l'Agence Nationale de la Météorologie du Bénin (METEO-BENIN), structure régalienne en matière de météorologie et du climat. Pour élaborer ces informations, METEO-BENIN utilise un réseau d'observations météorologiques où sont mesurés différents paramètres. Ce réseau est constitué d'un réseau de base (classique) et d'un réseau partenaire (automatique). Selon les paramètres mesurés, le réseau de base (classique) regroupe trois types de stations :

- les stations synoptiques classiques où tous les paramètres météorologiques sont mesurés
- les stations agro climatiques classiques où seulement la température et la pluie sont mesurées
- les postes pluviométriques classiques mesurant la pluviométrie



Source: *METEO-BENIN*

Figure 7: Carte des stations météorologiques de METEO-BENIN.

Notre étude s'est intéressée aux données météorologiques collectées par les six stations synoptiques classiques de METEO-BENIN. Nous avions ainsi délimité en superficie six zones météorologiques : Cotonou, Bohicon, Parakou, Savè, Kandi et Natitingou. Chaque département du Bénin a été associé à une station

selon qu'il appartient à la zone couverte par cette dernière. Cette association est présentée dans le tableau II.

Tableau II: Zones météorologiques, superficies et départements correspondants.

Zones météorologiques	Départements	Superficie (km^2)
Cotonou	Atlantique Littoral Ouémé Mono	6198
Bohicon	Zou Couffo Plateau	10911
Parakou	Borgou	25856
Savè	Collines	13931
Kandi	Alibori	26242
Natitingou	Atacora Donga	31625

3.2. Méthodes d'étude

3.2.1. Type d'étude

Il s'est agi d'une étude transversale rétrospective analytique.

3.2.2. Période d'étude

Notre étude a porté sur les données de la période allant du 01er mars 2020 au 28 février 2022.

3.2.3. Population d'étude

- **Cible :** Notre population était constituée par toutes les personnes atteintes de la COVID-19 durant la période allant du 01er mars 2020 au 28 février 2022.
- **Critères d'inclusion :** étaient inclus tout sujet chez qui un test rt-PCR était revenu positif.
- **Critères de non-inclusion :** il s'agissait des cas importés et des doublons (test contrôle de la même infection revenue positif).
- **Critères d'exclusion :** il s'agissait des cas dont la provenance ou la date de prélèvement n'avait pas été précisée.

3.2.4. Méthode et technique d'échantillonnage

Il s'agissait d'un échantillonnage non probabiliste par choix exhaustif. Tous les cas confirmés de la COVID-19 au Bénin selon nos critères d'éligibilité ainsi que notre période d'étude étaient inclus dans notre étude.

3.2.5. Variables d'étude

Les variables étaient regroupées en deux catégories.

3.2.5.1. Variable dépendante

Il s'agissait du taux d'incidence de la COVID-19.

3.2.5.2. Variables indépendantes

Nous avions distingué trois sous-catégories :

- **Paramètres météorologiques :** température relative, humidité relative, pluviométrie, vitesse du vent.
- **Zones météorologiques de provenance :** Cotonou, Bohicon, Parakou, Kandi, Savè, Natitingou.

- **Régions climatiques :** tropicale, équatoriale
- **Temps :** semaines
- **Saisons :** sèche et pluvieuse

3.2.6. Aspects opérationnels des variables

3.2.6.1. Aspect opérationnel de la variable dépendante

La variable dépendante de notre étude était le taux d'incidence de la COVID-19. Ce taux d'incidence a été calculé dans chaque zone météorologique du Bénin et dans chaque région climatique par 100000 habitants et par semaine. Il rapportait le nombre de nouveaux cas de la COVID-19 dans une zone météorologique ou dans une région climatique durant une semaine à l'effectif de la population dont étaient issus les cas pendant cette même période. Le produit du résultat obtenu par 100000 nous avait permis d'obtenir le taux d'incidence par 100000 habitants.

3.2.6.2. Aspects opérationnels des variables indépendantes

En ce qui concerne les paramètres climatiques, la valeur moyenne hebdomadaire était celle utilisée.

Tableau III: Aspects opérationnels des variables indépendantes.

Variables indépendantes	Définition opératoire	Type de variable	Modalités
Température relative	C'est la température atmosphérique exprimée selon l'échelle Celsius.	Quantitative	Variable
Humidité relative	Encore appelée degré d'hygrométrie, c'est le rapport entre le poids d'eau contenu	Quantitative	Variable

	dans $1m^3$ d'air sec et le poids d'eau maximum que cet air pourrait contenir à la même température, s'il était saturé. Elle est exprimée en pourcentage.		
Pluviométrie	C'est l'évaluation quantitative des précipitations. Elle est exprimée en millimètre.	Quantitative	Variable
Vitesse du vent	C'est la distance parcourue par le vent par unité de temps. Elle est exprimée en mètre par seconde.	Quantitative	Variable
Région météorologique de provenance	Territoire dont les paramètres météorologiques sont attribués à une station météorologique et duquel un individu est issu.	Qualitative nominale	Cotonou Bohicon Parakou Savè Kandi Natitingou
Région climatique	Territoires aux conditions météorologiques similaires.	Qualitative nominale	Tropicale Equatoriale
Temps	Correspondant à une semaine, c'est la période pendant laquelle le taux d'incidence et les paramètres climatiques sont calculés.	Quantitative	1

Saisons climatiques	Période de l'année qui observe une relative constance du climat.	Qualitative nominale	Sèche Pluvieuse

3.2.7. Technique de collecte des données

Notre étude a nécessité la collecte de deux grands groupes de données :

- Données épidémiologiques de la COVID-19 au Bénin

Ces données ont été collectées sous forme brute à partir des bases de données du ministère de la santé du Bénin. Il s'agissait des données des patients enregistrés par le gouvernement béninois durant la période allant du 01er mars 2020 au 28 février 2022.

- Données météorologiques locales

Ces données ont été fournies par l'Agence Nationale de Météorologie du Bénin. Il s'agissait des données enregistrées au niveau des six stations synoptiques du Bénin durant la période allant du 01er mars 2020 au 28 février 2022.

3.2.8. Traitement et analyse des données

Les données avaient été fournies en fichiers de format xlsx puis traitées à partir des logiciels Excel pour Microsoft 365 et du langage de programmation Python version 3.10.3 ainsi que de ses bibliothèques (numpy, pandas, matplotlib, seaborn, scipy, statsmodels, statistics, sklearn). Le traitement des données avait consisté en la suppression des colonnes non indispensables, en l'application des critères d'inclusion, de non-inclusion et d'exclusion puis en la fusion des diverses tables de données. Les tableaux avaient été réalisés avec l'outil Word pour Microsoft 365. Les graphiques avaient été réalisés à partir des bibliothèques matplolib et seaborn de Python.

- **Analyse descriptive**

La normalité de la distribution des données avait été vérifiée à partir du test de Shapiro-Wilk. Le seuil de significativité pour ce test était de 0,05%. Les variables quantitatives avec une distribution normale ont été décrites par leur moyenne avec leur écart-type. Les variables quantitatives avec une distribution asymétrique ont été décrites par leur médiane avec leur intervalle interquartile. Les variables qualitatives quant à elles étaient exprimées sous forme de pourcentage. Les séries chronologiques étaient le taux d'incidence et les paramètres climatiques. L'analyse de la série du taux d'incidence au Bénin avait consisté en la description de sa courbe d'évolution puis en la décomposition en ses diverses composantes (saisonnière et tendance). L'analyse de la série du taux d'incidence dans chaque zone météorologique et dans chaque région météorologique de sa courbe d'évolution, avait consisté en la description de sa courbe d'évolution. L'analyse de l'évolution des paramètres climatiques avait consisté en la description de leur courbe d'évolution.

- **Analyse univariée**

Les valeurs moyennes, minimales et maximales hebdomadaires des paramètres climatiques étaient celles utilisées pour rechercher la corrélation. La représentation graphique en nuages de points du taux d'incidence en fonction des paramètres climatiques dans chaque zone météorologique avait été, dans un premier temps, réalisée afin de caractériser la forme de la relation entre les variables. Dans un deuxième temps, l'existence d'une association linéaire entre le taux d'incidence et chacun des paramètres climatiques (température relative, humidité relative, pluviométrie, vitesse du vent) dans chaque région météorologique était recherchée à partir du test de corrélation des rangs de Spearman, les variables suivant une distribution non gaussienne. La force de cette association était appréciée à travers les coefficients de corrélation et leur intervalle de confiance était de 95%. Le seuil de significativité choisi pour les coefficients était de 5%. En ce qui concerne la liaison entre le taux d'incidence et

les saisons, elle avait été recherchée à partir du test de Mann-Whitney, le taux d'incidence ne suivant pas une distribution selon la loi normale. Le seuil de significativité choisi pour ce test était de 5%.

- **Analyse multivariée**

L'analyse de la significativité globale des modèles estimés avait été faite avec la statistique de Fischer qui indiquait si les variables explicatives exerçaient une influence sur la variable dépendante. Le seuil de significativité de la probabilité associée à cette statistique était de 5%. En ce qui concerne l'appréciation de la significativité individuelle des variables, la probabilité associée à la statistique de Student était celle utilisée. Le seuil de significativité de 5% était celui retenu pour ce test.

L'effet de la saisonnalité avait été recherché dans un premier temps par un modèle de régression linéaire multiple utilisant la méthode des moindres carrés ordinaires L'équation pour ce premier modèle était la suivante :

$$A = c_a + a1*janvier + a2*février + a3*mars + a4*avril + a5*mai + a6*juin + a7*août + a8*septembre + a9*octobre + a10*novembre + a11*décembre$$

où A était le taux d'incidence, c_a la constante et $a1....a11$ les coefficients des variables utilisées (mois). Le mois de juillet n'avait pas été inclu dans le modèle selon le principe du codage des variables indicatrices binaires (ou *dummy variables*) selon lequel son effet était pris en compte par la constante c.

Nous avions ensuite évalué l'effet des paramètres climatiques dans chaque zone météorologique à travers un modèle estimé à partir d'un Moindre Carre Ordinaire. Toutes les variables avaient été incluses dans le modèle afin de ne pas

$$B = c_b + b1*temp\ moy + b2*temp\ max + b3*temp\ min + b4*hum\ moy + b5*hum\ max + b6*hum\ min + b7*pluvio\ moy + b8*pluvio\ max + b9*pluvio\ min + b10*vit\ moy\ vent + b11*vit\ min\ vent + b12*vit\ max\ vent$$

manquer un facteur de risque qui pourrait être masqué par un facteur confondant. L'équation pour ce deuxième modèle était la suivante :

où *B* était le taux d'incidence, c_b la constante et *b1….b12* les coefficients des variables utilisées (paramètres climatiques).

3.2.9. Considérations d'ordre éthique

Les considérations d'ordre éthique ont été prises en compte dans la présente étude. Les données ont été recueillies dans l'anonymat. Les informations présentées ne sauraient portées préjudice à aucun individu.

4. RESULTATS

Le nettoyage des données de la COVID-19 reçues avait consisté, entre autres, en l'application des critères de non-inclusion et d'exclusion. La figure 8 présente le processus de nettoyage des données de la COVID-19.

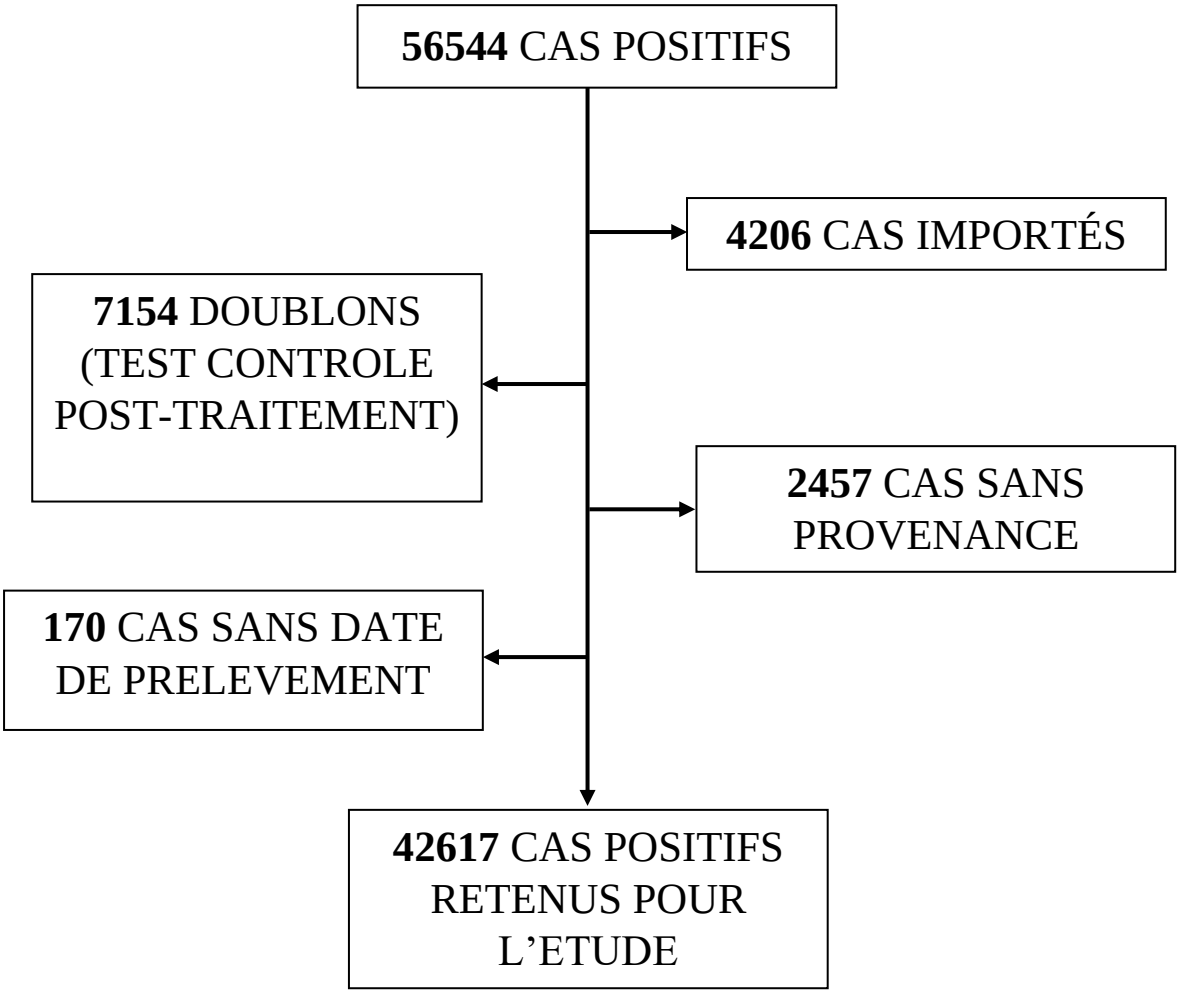


Figure 8: Diagramme de flux du traitement des données de la COVID-19.

Les résultats de nos analyses sont présentés comme suit :

4.1. Analyse descriptive des variables

4.1.1. Répartition des cas en fonction des zones météorologiques, de l'âge et du sexe

La population de cas positifs inclue dans l'étude s'élevait à 42617 individus. La zone météorologique de Cotonou était la plus représentée avec un effectif de

33816 cas soit une fréquence absolue de 79,35% et celle de Savè la moins représentée avec un effectif de 79 cas soit une fréquence absolue de 0,2%. Le tableau IV présente la répartition des cas en fonction des zones météorologiques.

Tableau IV: Répartition des cas en fonction des zones météorologiques

Zones météorologiques	Cas positifs	
	Effectif	Proportions (%)
COTONOU	33816	79,3
BOHICON	3706	8,7
PARAKOU	2624	6,2
KANDI	542	1,3
SAVE	79	0,2
NATITINGOU	1850	4,3

Parmi les cas, 41982 patients étaient de sexe connus (soit 635 patients de sexe non précisé) avec un sexe ratio F/H de 0,8. Le tableau V présente les statistiques descriptives de l'âge des patients en fonction des zones. La moyenne d'âge au Bénin était de 35,60 ± 16,05 ans.

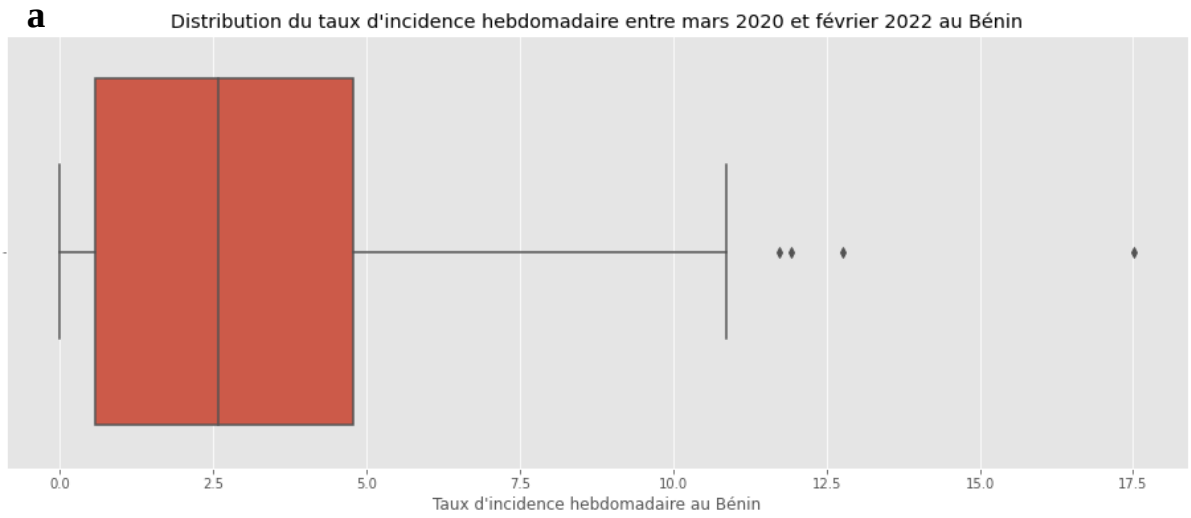
Tableau V: Statistiques descriptives de l'âge.

Zones	Nombre d'observations	Moyenne ± écart-type	Minimum	1er quartile	Médiane	3è quartile	Maximum	Mode
BENIN	41424	35,60 ± 16,05	0,1	25	34	46	102	30
COTONOU	32908	35,94 ± 15,99	0,1	25	35	46	102	30
BOHICON	3567	37,52 ± 16,90	0,2	25	35	49	100	30
PARAKOU	2582	33,54 ± 15,93	0,7	23	31	42	101	25
KANDI	514	32,48 ± 14,26	01	23	30	40	83	30
SAVE	64	39,64 ± 15,81	5	29,75	38	47,25	80	30
NATITINGOU	1789	29,19 ± 14,25	0,7	19	28	38	87	25

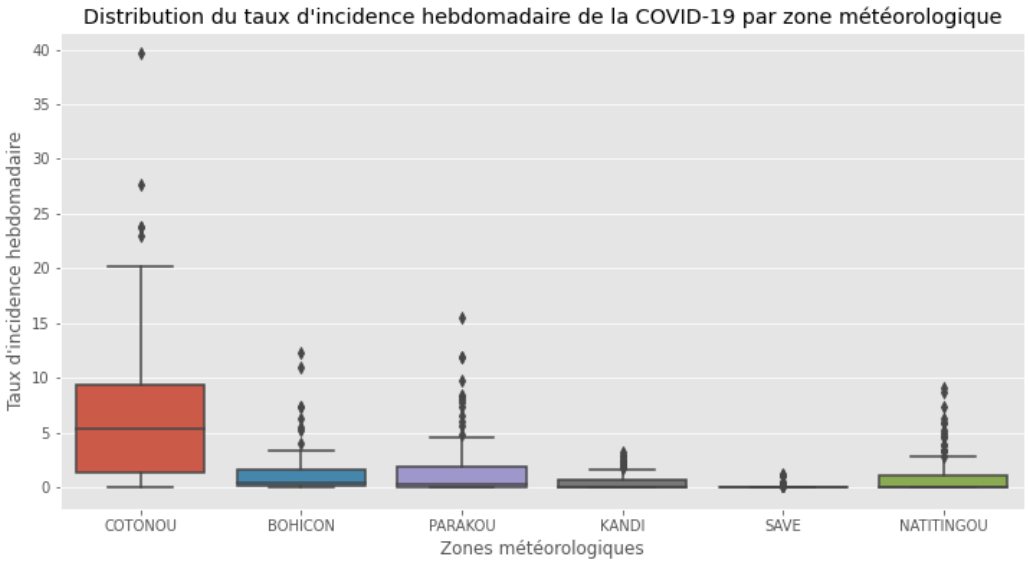
4.1.2. Description du taux d'incidence

La série du taux d'incidence était chronologique, les données étaient hebdomadaires et s'étalaient entre le 01er mars 2020 et le 28 février 2022, soit deux cycles 1 et 2 de douze mois. La figure 9 présente la distribution des valeurs du taux d'incidence au Bénin, dans chaque zone météorologique et dans chaque région climatique. L'application du test de Shapiro-Wilk au taux d'incidence permettait de noter une *p-value* = 0,00 (<0,005), d'où la non-normalité de la distribution du taux d'incidence au Bénin, dans chaque zone météorologique et dans chaque région climatique.

a



b



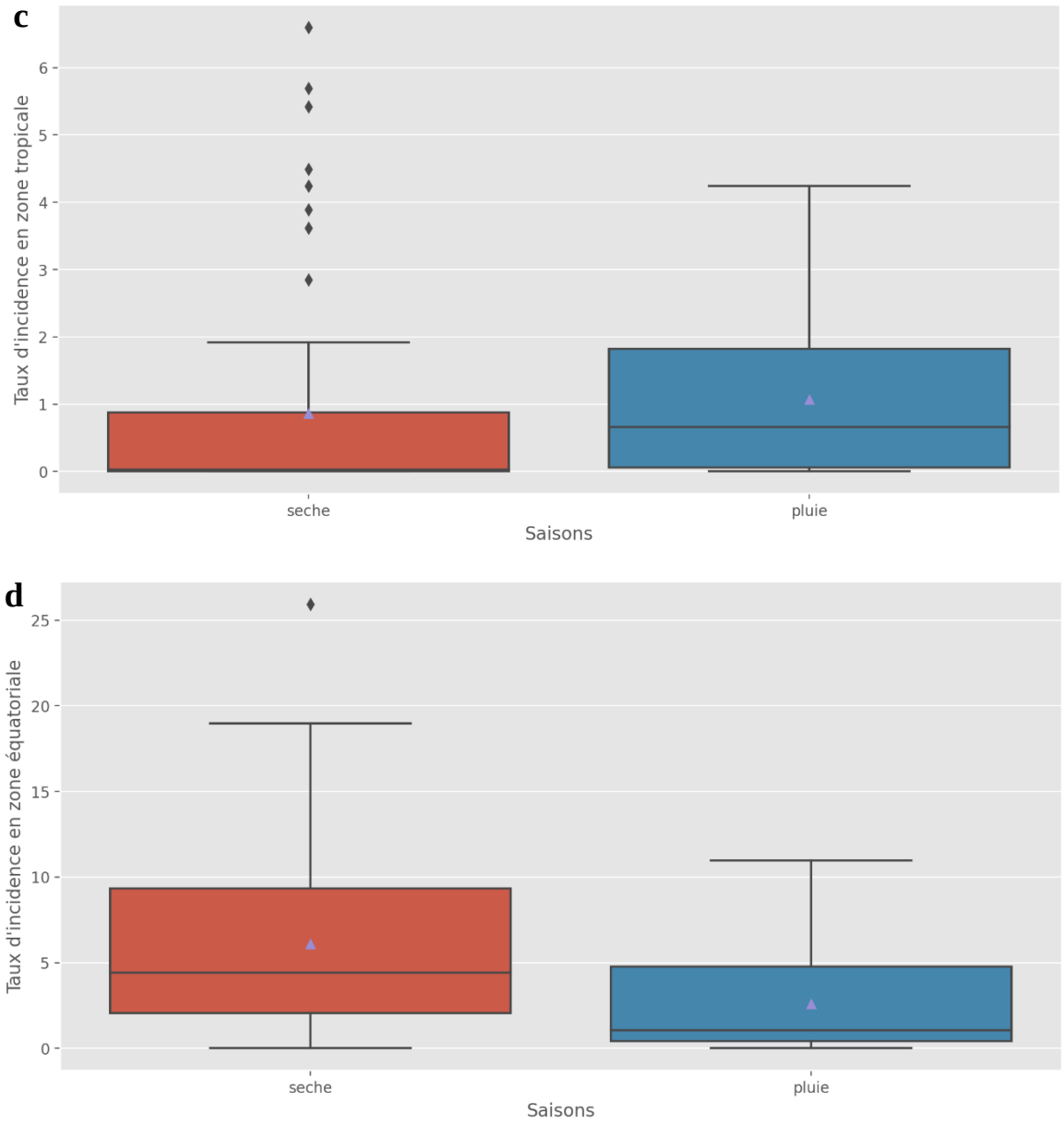


Figure 9: Distribution du taux d'incidence : **a)** au Bénin, **b)** en fonction des zones météorologiques, **c)** en fonction des saisons en zone tropicale, **d)** en fonction des saisons en zone équatoriale

4.1.2.1. Description du taux d'incidence au Bénin

Le coefficient de variation de la série était de 1,02. La médiane du taux d'incidence au Bénin était de 2,58 [IQR = 4,21] cas par semaine. Sur toute la période d'étude, le taux d'incidence maximal était de 17,51 cas par 100000 habitants et était atteint la semaine du 20 février 2021. Celui minimal était de 0 et était atteint durant les semaines du 14, 21 et 28 mars 2020. L'analyse conjointe avec la base de données de la figure 10 permettait de noter que le taux d'incidence était quasiment nul entre les semaines du 07 mars 2020 et du 30 mai 2020, à l'exception de la semaine du 09 mai où l'on observait une légère augmentation à 0,41. A partir de la semaine du 06 juin, l'on observait une augmentation plus ou moins brusque avec atteinte d'un pic (7,14) durant la semaine du 11 juillet 2020. Il s'en suivait une diminution progressive en dents de scie jusqu'à la semaine du 22 août 2020 à partir de laquelle le taux d'incidence oscillait en dents de scie autour d'une moyenne de 03 cas par 100000 habitants jusqu'à la semaine du 02 janvier 2021. A partir de cette semaine, on observait une augmentation brusque avec atteinte d'un pic (17,51) durant la semaine du 20 février 2021. Il s'en suivait une chute plus ou moins rapide avec atteinte d'une valeur de 1,31 cas par 100000 habitants la semaine du 15 mai 2021. A partir de la semaine du 22 mai 2021, il restait plus ou moins nul jusqu'à la semaine du 03 juillet 2021. A partir de la semaine du 10 juillet 2021, on observait une augmentation brusque avec atteinte d'un pic (11,94) durant la semaine du 04 septembre 2021. Il chutait ensuite pour atteindre une valeur presque nulle (0,63) durant la semaine du 16 octobre 2021. Il s'en suivait une évolution en dents de scie de plus ou moins grande amplitude (0,09 à 6,77) jusqu'à la semaine du 08 janvier 2022 (01 cas par 100000 habitants). Le taux d'incidence décroissait ensuite progressivement pour atteindre une valeur de 0,09 durant la semaine du 26 février 2022.

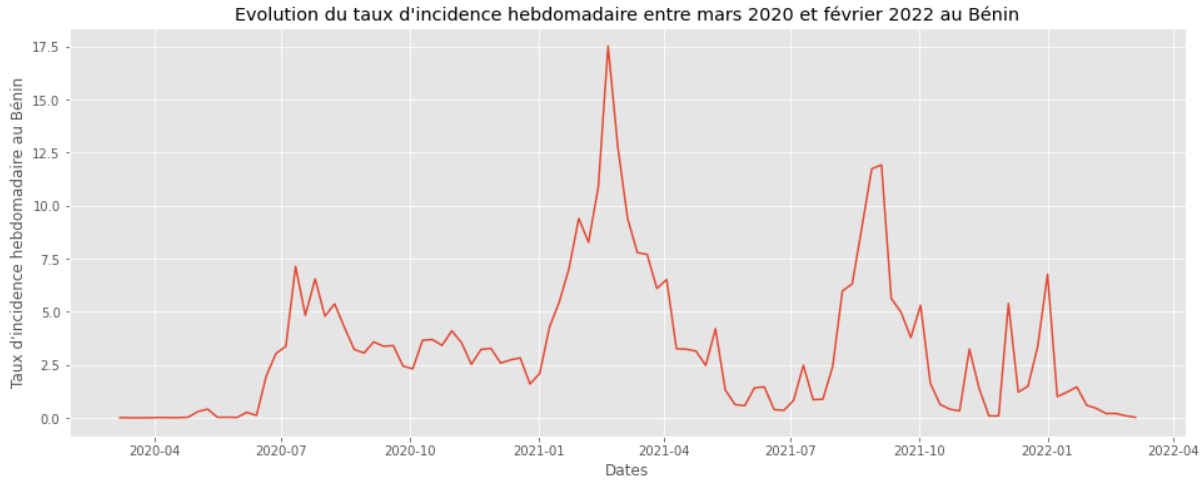


Figure 10: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 au Bénin.

Afin de mieux apprécier les variations du taux d'incidence au Bénin qui semblaient saisonnières et marquées par une augmentation durant les mois de juillet, août et septembre et une baisse durant les mois de mai et juin, nous avions procédé à la décomposition (figure 11) de la série du taux d'incidence au Bénin en composantes tendance et saisonnière. La figure 11.a montrait que l'évolution du taux d'incidence au Bénin était globalement stationnaire durant toute la période d'étude et marquée par de grandes variations durant les mois de septembre et février. Sur la figure 11.b représentant la composante saisonnière de la série du taux d'incidence, on notait que le taux d'incidence était élevé durant les mois d'août, septembre et février, faible durant les mois d'avril, mai et juin et restait plus ou moins constant, en dents de scie durant les autres mois de l'année.

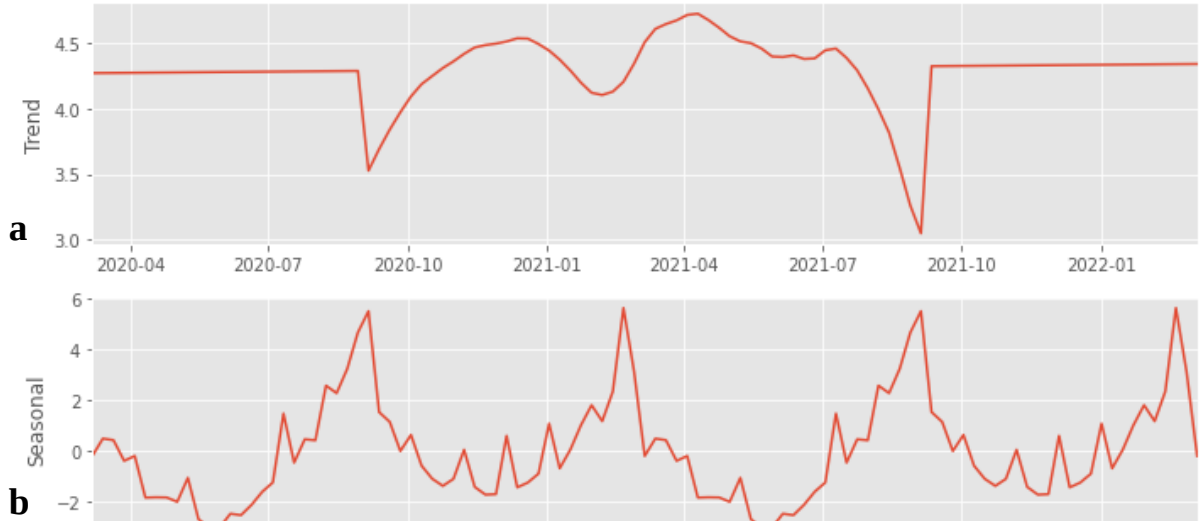


Figure 11: Décomposition de la série du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 au Bénin.

a) Tendance générale, **b)** Variations saisonnières

Dans l'optique d'étayer l'ensemble de ces observations, une modélisation multivariée avait été estimée afin de mesurer l'impact de ces mois sur l'évolution de la COVID-19. Les résultats du modèle sont présentés dans la suite du document.

4.1.2.2. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Cotonou

Le coefficient de variation de la série était de 1,02. La médiane du taux d'incidence à Cotonou était de 5,28 [IQR = 7,97]. Sur toute la période d'étude, le taux d'incidence maximal était de 39,6 et était atteint durant la semaine du 20 février 2021. Celui minimal était de 0 et était atteint durant tout le mois de mars 2020 et durant la semaine du 05 mai 2020. L'analyse conjointe avec la base de données de la figure 12 permettait de noter que le taux d'incidence était quasiment nul et constant entre la semaine du 07 mars 2020 et celle du 13 juin 2020. A partir

de la semaine du 20 juin 2020, on observait une augmentation brusque avec atteinte d'un pic (18,32) durant la semaine du 11 juillet 2020 puis, s'en suivait une baisse progressive en dents de scie jusqu'à la semaine du 15 août 2020. L'évolution restait ensuite plus ou moins constante (~5,5) en dents de scie jusqu'à la semaine du 02 janvier 2021, à partir de laquelle on observait une forte augmentation brusque avec atteinte du maximum (39,6) durant la semaine du 20 février 2021. Il s'en suivait une diminution plus ou moins brusque jusqu'à la semaine du 22 mai 2021 (1,47) à partir de laquelle on observait un creux avec un taux d'incidence moyen de 2,5 pendant environ 10 semaines. A partir de la semaine du 31 juillet 2021, on observait une augmentation brusque avec atteinte d'un pic (23,72) durant la semaine du 28 août 2021 puis une diminution brusque. L'évolution à partir de la semaine du 02 octobre 2021 était en dents de scie jusqu'à la semaine du 08 janvier 2022 avec des valeurs oscillant entre ~1 et ~17. A partir de la semaine du 15 janvier 2022, le taux d'incidence chutait progressivement pour atteindre 0,25 durant la semaine du 26 février 2022.

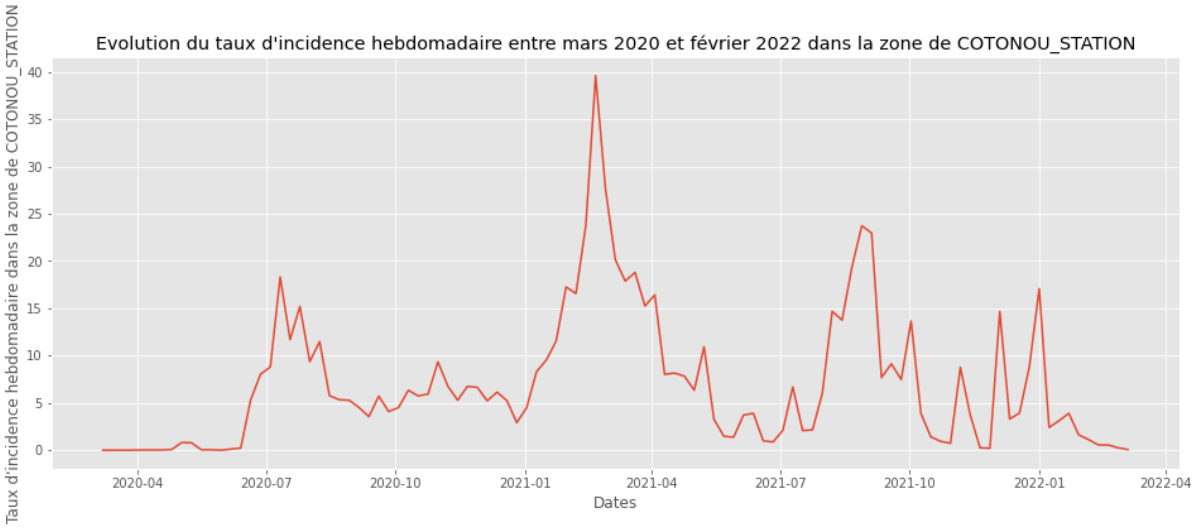


Figure 12: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de COTONOU

4.1.2.3. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Bohicon

Le coefficient de variation de la série était de 1,66. La médiane du taux d'incidence à Bohicon était de 0,43 [IQR = 1,47]. Sur toute la période d'étude, le taux d'incidence maximal était de 12,35 et était atteint durant la semaine du 04 septembre 2021. Celui minimum était de 0 et était atteint durant les mois de mars, avril et mai 2020, les semaines des 13 et 20 novembre 2021, les semaines des 04, 11 et 18 décembre 2021, la semaine du 29 janvier 2022, les semaines des 12, 19 et 26 février 2022 et la semaine du 05 mars 2022. L'analyse conjointe avec la base de données de la figure 13 permettait de noter que le taux d'incidence était quasiment nul entre la semaine du 07 mars 2020 et celle du 27 juin 2020. A partir de la semaine du 04 juillet 2020, on observait une augmentation plus ou moins brusque avec atteinte d'un pic (6,24) le 15 août 2020 puis une chute brusque jusqu'à une valeur d'environ 0,55 (semaine du 22 août 2022) où elle restait plus ou moins constante jusqu'à la semaine du 03 octobre 2020. On observait ensuite une augmentation brusque avec atteinte d'une valeur de 2,47 durant la semaine du 07 novembre 2020 puis une diminution progressive en dents de scie jusqu'à atteindre une valeur de 0,36 durant la semaine du 23 janvier 2021. Il s'en suivait une augmentation brusque avec atteinte de deux pics successifs, le premier (3,23) durant la semaine du 30 janvier 2021 puis le second (5,42) durant la semaine du 06 mars 2021. On observait ensuite une diminution progressive jusqu'à une valeur presque nulle puis constante entre la semaine du 12 juin 2021 et celle du 10 juillet 2021. Il s'en suivait une forte augmentation marquée par un pic (12,35) durant la semaine du 04 septembre 2021 puis une brusque diminution jusqu'à une valeur de 0,43 le 02 octobre 2021, semaine à partir de laquelle il restait presque nul jusqu'à la semaine du 05 mars 2022.

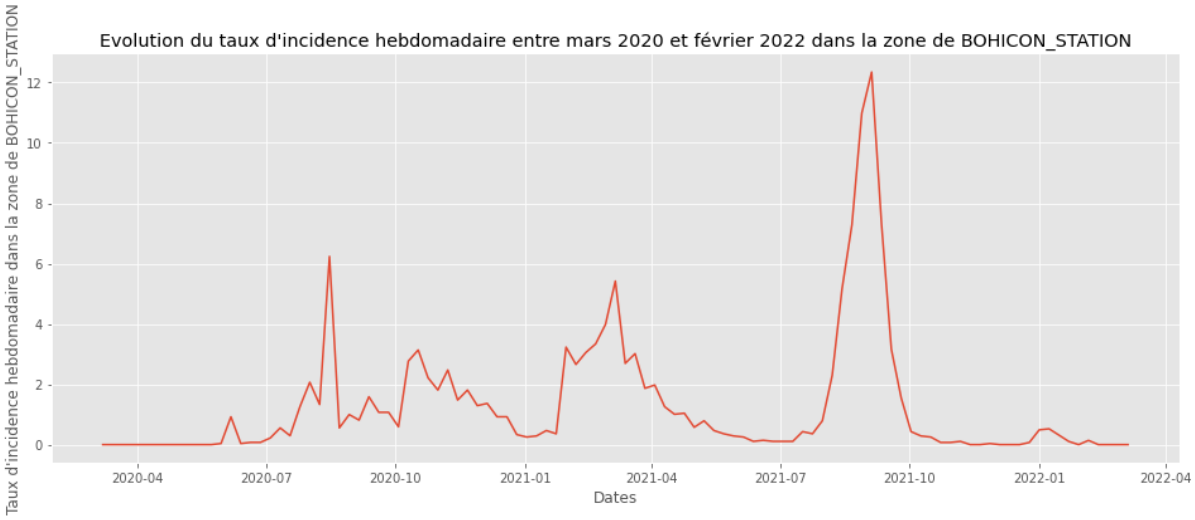


Figure 13: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de BOHICON

4.1.2.4. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Parakou

Le coefficient de variation de la série était de 1,81. La médiane du taux d'incidence à Parakou était de 0,27 [IQR = 1,89]. Sur toute la période d'étude, le taux d'incidence maximal était de 15,48 et était atteint durant la semaine du 23 janvier 2021. Celui minimum était de 0 et était atteint durant les semaines des 14, 21 et 28 mars 2020, le mois d'avril 2020, les semaines des 02, 23 et 30 mai 2020, les semaines des 06, 13 et 20 juin 2020, le mois de mai 2021, les semaines des 05, 12 et 19 juin 2021, les semaines des 10 et 17 octobre 2021, les semaines des 06 et 20 novembre 2021, la semaine du 11 décembre 2021 et les mois de janvier et février 2022. L'analyse conjointe avec la base de données de la figure 14 permettait de noter qu'à l'exception des semaines du 07 mars 2020 (0,07), du 09 mai 2020 (0,54) et du 16 mai 2020 (0,07), le taux d'incidence était nul les autres semaines de la période allant du 01 mars au 20 juin 2020. A partir de la semaine du 27 juin 2020, on observait une augmentation plus ou moins progressive avec

atteinte d'un premier pic (3,37) la semaine du 01er aout 2020 puis d'un second pic (4,59) la semaine du 05 septembre 2020. Il diminuait ensuite pour rester plus ou moins constant (0,45) de la semaine du 03 octobre 2020 à celle du 05 décembre 2020. A partir de la semaine du 12 décembre 2020, on observait une forte augmentation, plus ou moins brusque marquée par un pic durant la semaine du 23 janvier 2021. Il s'en suivait une chute progressive jusqu'à une valeur de 0,39 le 20 mars 2021. Le taux d'incidence restait ensuite presque nul jusqu'au 24 juillet 2021, semaine à partir de laquelle on observait une augmentation avec atteinte d'un pic (9,71) durant la semaine du 11 septembre 2021. Il s'en suivait une baisse plus ou moins brusque jusqu'à une valeur de 0,33 durant la semaine du 30 octobre 2021. Il restait ensuite presque nul jusqu'à la semaine du 26 février 2022 sauf durant la semaine du 01er janvier 2022 où on observait un pic à 1,72.

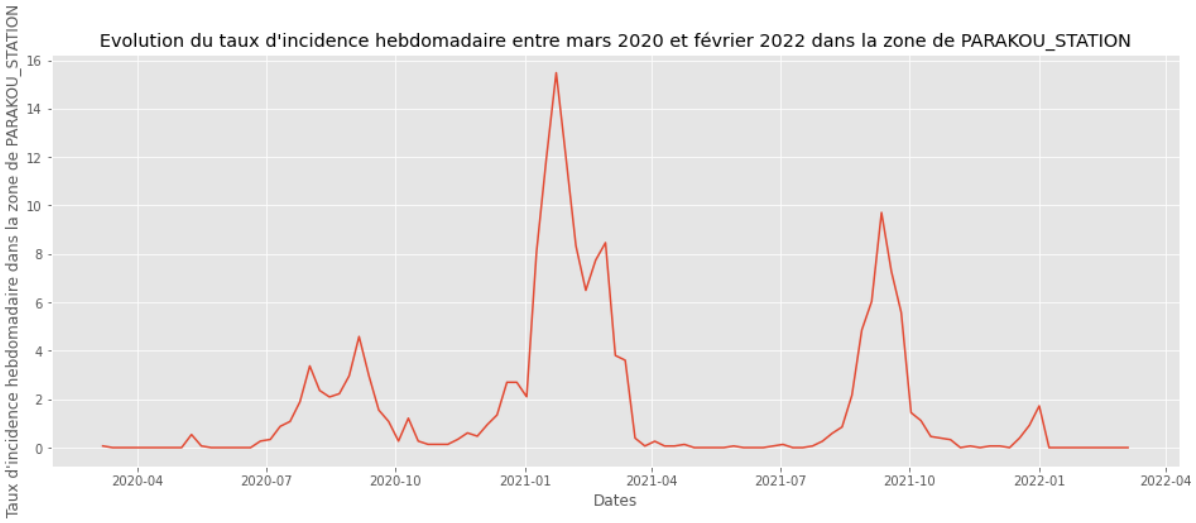


Figure 14: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de PARAKOU

4.1.2.5. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Kandi

Le coefficient de variation de la série était de 1,62. La médiane du taux d'incidence à Kandi était de 0 [IQR = 0,66]. Sur toute la période d'étude, le taux d'incidence maximal était de 3,21 et était atteint durant la semaine du 01er août 2020. L'analyse conjointe avec la base de données de la figure 15 permettait de noter qu'entre la semaine du 07 mars et du 18 juillet 2020, le taux d'incidence était pratiquement nul avec un maximum de 0,66 atteint durant la semaine du 09 mai 2020. A partir de la semaine du 04 juillet 2020, on observait une évolution en dents de scie irrégulières jusqu'à la semaine du 03 avril 2021. Il restait ensuite pratiquement nul jusqu'à la semaine du 26 février 2022. Ces observations ne révélaient pas l'existence de variations qui se répétaient à l'identique d'une année à une autre.

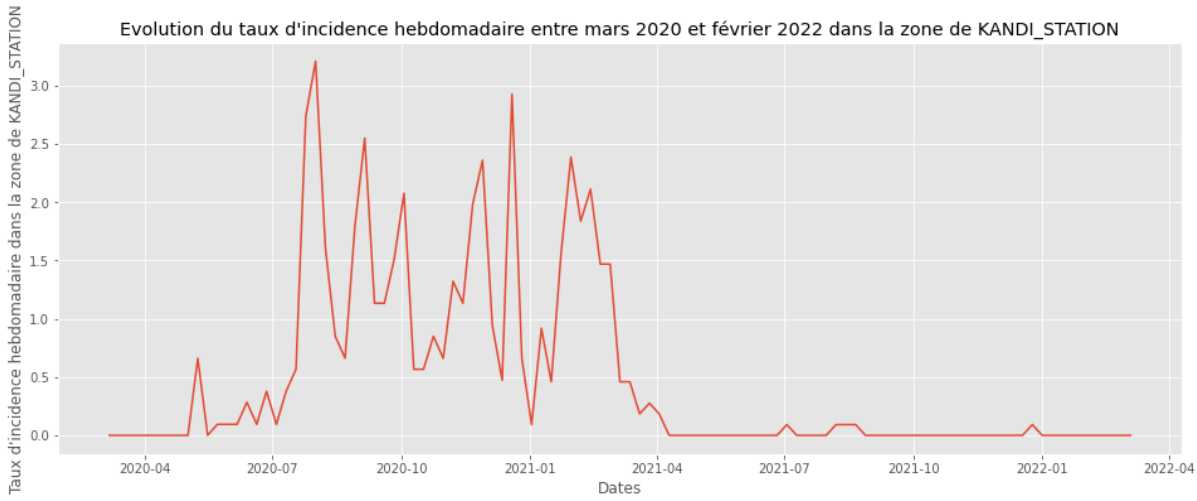


Figure 15: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de KANDI

4.1.2.6. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Savè

Le coefficient de variation de la série était de 2,65. La médiane du taux d'incidence à Savè était de 0 [IQR = 0]. Sur toute la période d'étude, le taux d'incidence maximal était de 1,26 et était atteint durant la semaine du 21 novembre 2020. L'analyse conjointe avec la base de données de la figure 16 permettait de noter une évolution en dents de scie irrégulières entre la semaine du 12 septembre 2020 et celle du 13 mars 2021, période pendant laquelle le taux d'incidence atteint son maximum. Il restait ensuite nul jusqu'à la semaine du 07 août 2021. A partir de la semaine du 14 août 2021, on observait à nouveau une évolution en dents de scie irrégulières avec de faibles amplitudes jusqu'à la semaine du 30 octobre 2021. Ces observations ne mettaient pas en évidence des variations saisonnières du taux d'incidence.

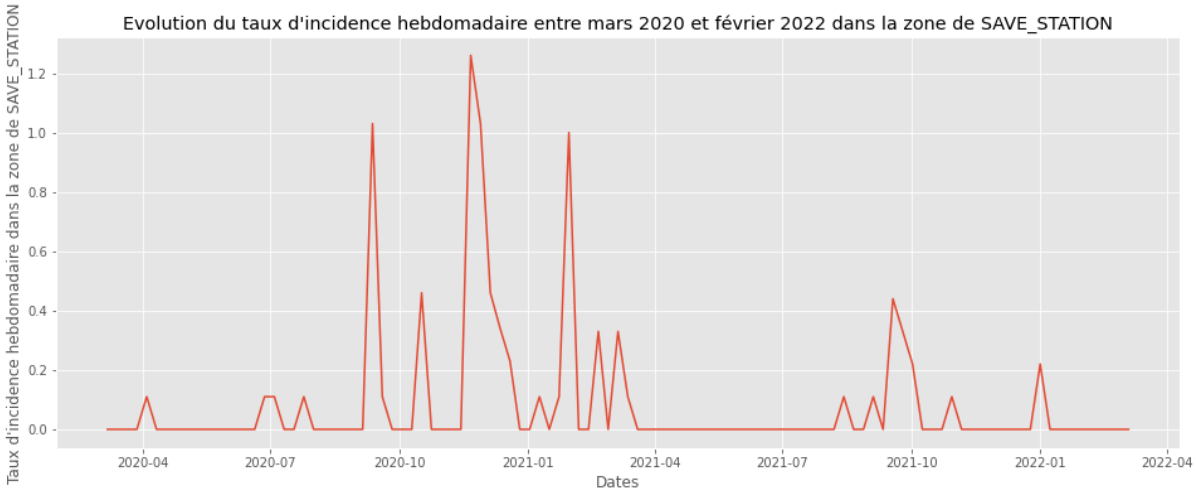


Figure 16: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de SAVE.

4.1.2.7. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Natitingou

Le coefficient de variation de la série était de 1,85. La médiane du taux d'incidence à Natitingou était de 0 [IQR = 1,12]. L'analyse conjointe avec la base de données de la figure 17 permettait de noter que sur toute la période d'étude, le taux d'incidence maximal était de 9,03 et était atteint durant la semaine du 12 septembre 2020. Le taux d'incidence restait nul entre la semaine du 07 mars 2020 et celle du 27 juin 2020. On observait ensuite une augmentation en dents de scie à partir de la semaine du 04 juillet 2020 avec atteinte d'un pic (9,03) durant la semaine du 12 septembre 2020. S'en suivait une baisse en dent de scie jusqu'à la semaine du 21 novembre 2020 pour atteindre une valeur de 0,06. Plus ou moins stationnaire, une nouvelle augmentation était survenue à partir de la semaine du 16 janvier 2021 pour atteindre un pic (8,66) durant la semaine du 20 février 2021. La baisse du taux s'en suivait pour atteindre une valeur nulle durant la semaine du 03 mars 2021. A partir de cette semaine, le taux d'incidence restait plus ou moins nul jusqu'à la semaine du 26 février 2022. On constatait ainsi qu'aucune variation ne se répétait d'une année à une autre.

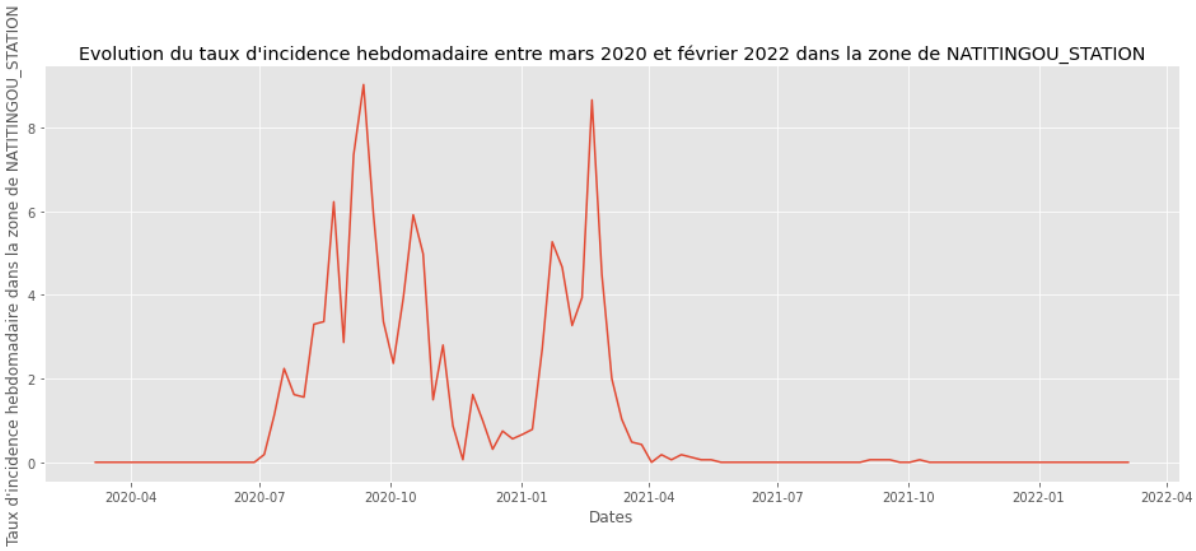


Figure 17: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 dans la zone météorologique de NATITINGOU

4.1.2.8. Description du taux d'incidence en zone tropicale au Bénin en fonction des saisons climatiques

La médiane du taux d'incidence en zone tropicale était de 0,18 [IQR = 1,65]. Sur toute la période d'étude, le taux d'incidence maximal était de 6,60 et était atteint durant la semaine du 23 janvier 2021. La figure 18 présente l'évolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 en zone tropicale au Bénin. On observait que durant la saison sèche de l'an 2020, le taux d'incidence était bas et presque nul. La saison des pluies ayant suivi à partir du mois de juillet, on observait une augmentation du taux d'incidence avec atteinte d'un pic (4,24) durant la semaine du 05 septembre 2020. Il s'en suivait une décroissance avec une oscillation en dents de scie autour d'une valeur de 1,04 cas par 100000 habitants, jusqu'à la fin de la saison des pluies au mois d'octobre et pendant la première partie de la saison sèche (la saison sèche ayant été divisée en trois parties égales) ayant suivi. Durant le tier moyen de la saison sèche, on observait une augmentation du taux d'incidence avec atteinte d'un pic (6,60) durant la semaine du 23 janvier 2021. Le taux d'incidence décroissait ensuite pour rester presque nul durant la troisième partie de la saison sèche. Durant la saison des pluies suivante, on observait une augmentation du taux d'incidence avec atteinte d'un pic (2,88) durant la semaine du 11 septembre 2021. Le taux d'incidence décroissait ensuite pour rester presque nul durant la saison sèche ayant suivi.

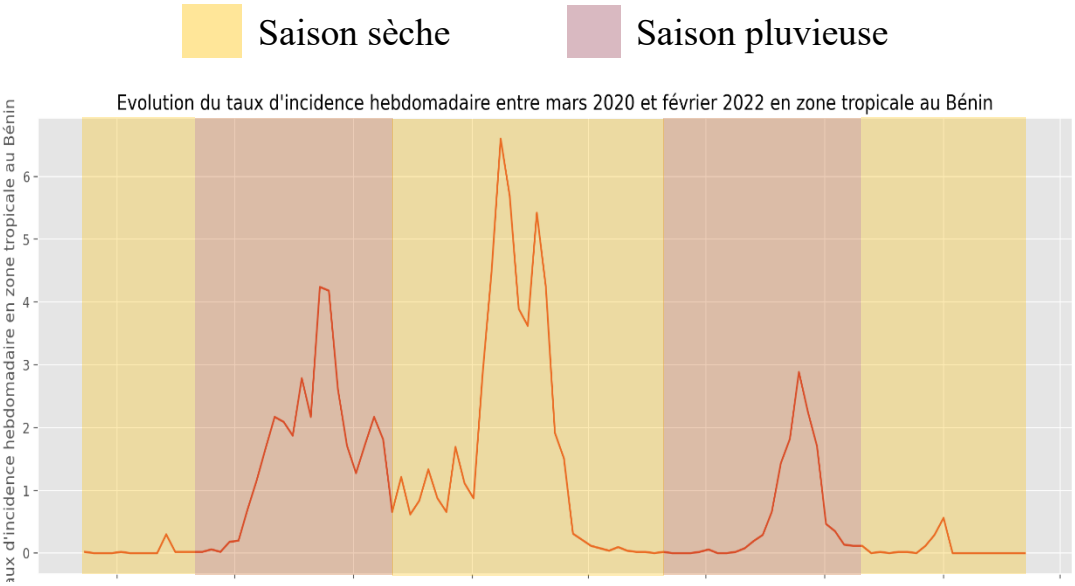


Figure 18: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 en zone tropicale au Bénin

4.1.2.9. Description du taux d'incidence en zone équatoriale au Bénin

La médiane du taux d'incidence en zone tropicale était de 3,67 [IQR = 5,65]. Sur toute la période d'étude, le taux d'incidence maximal était de 25,95 et était atteint durant la semaine du 20 février 2021. La figure 19 présente l'évolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 en zone équatoriale au Bénin. On observait que durant la saison sèche du mois de mars 2020, au début de l'épidémie, le taux d'incidence était presque nul. La saison des pluies des mois d'avril et mai, le taux d'incidence restait presque nul. Vers la fin de la saison des pluies, durant le mois de juin, on observait une augmentation du taux d'incidence avec atteinte d'un pic (11,63) durant la semaine du 11 juillet 2020. Il décroissait ensuite puis oscillait autour d'une valeur de 4,04 cas par 100000 habitants par semaine. Durant la saison sèche suivante, on observait une croissance du nombre de cas avec atteinte d'un pic (25,95) durant la semaine du 20 février 2021. Le taux d'incidence restait ensuite bas durant la saison des pluies suivante (avril,

mai, juin). Durant la saison sèche suivante, on observait une augmentation du taux d'incidence avec atteinte d'un pic (18,96) durant la semaine du 04 septembre 2021. La petite saison de pluie qui suivait était marquée par un taux d'incidence bas. Ensuite, durant la saison sèche suivante, on observait des variations de grandes amplitudes du taux d'incidence.

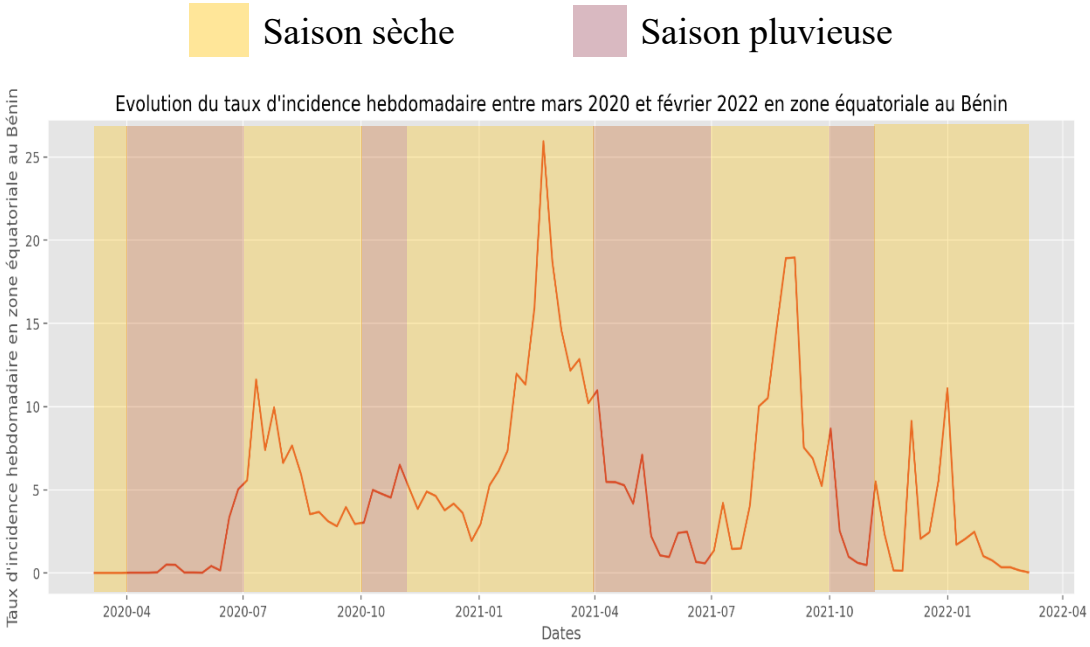


Figure 19: Evolution du taux d'incidence hebdomadaire entre mars 2020 et février 2022 en zone équatoriale au Bénin

4.1.3. Description des paramètres climatiques

Les valeurs des paramètres météorologiques etaient constituées par des séries chronologiques. Les valeurs étaient des moyennes hebdomadaires et s'étalaient entre le 01er mars 2020 et le 28 février 2022, soit deux cycles 1 et 2 de douze mois. L'application du test de Shapiro-Wilk aux paramètres météorologiques de chaque zone météorologique permettait de noter une *p-value* = 0,00 (<0,05) pour tous les paramètres à l'exception de la vitesse moyenne du vent dont la *p-value* restait significative dans toutes les zones sauf celle de Kandi. Ainsi, la température, l'humidité et la pluviométrie ne suivaient pas une distribution

normale. Quant à la vitesse du vent, sa distribution était normale dans toutes les zones météorologiques sauf celle de Kandi.

4.1.3.1. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Cotonou

Les coefficients de variations des séries de la température, de la pluviométrie, de l'humidité et de la vitesse du vent étaient respectivement de 0,04, 1,43, 0,05 et 0,2. La médiane de la température sur la période d'étude était de 28,46 °C [IQR = 2,01], celle de l'humidité de 80,29 % [IQR = 4,57] et celle de la pluviométrie de 0,94 mm [IQR = 4,23]. Quant à la vitesse moyenne du vent, la moyenne était de 3,78 ± 0,75 m/s. La figure 20 présentait l'évolution hebdomadaire de la température (°C), de la pluviométrie (mm), de l'humidité (%) et de la vitesse moyenne du vent (m/s) dans la zone météorologique de Cotonou. On observait des évolutions similaires de la température sur les deux cycles de notre période d'étude. Ainsi, on notait une baisse progressive de la température de mars à août avec atteinte de son minimum puis une remontée progressive jusqu'en mars du cycle suivant où elle semblait atteindre son pic en avril. En ce qui concerne l'humidité, on observait une courbe d'allure globalement sinusoïdale. Sur le premier cycle, on notait une croissance progressive jusqu'en juillet avec atteinte de son maximum puis une décroissance progressive jusqu'en février. Sur le second cycle, l'humidité semblait augmenter jusqu'en septembre puis diminuer jusqu'en février. Quant à la pluviométrie, on notait une succession de pics d'amplitudes très variées sur toute la période d'étude. Les plus grands pics étaient observés durant le mois de juin. La courbe d'évolution de la vitesse moyenne du vent avait une allure relativement constante.

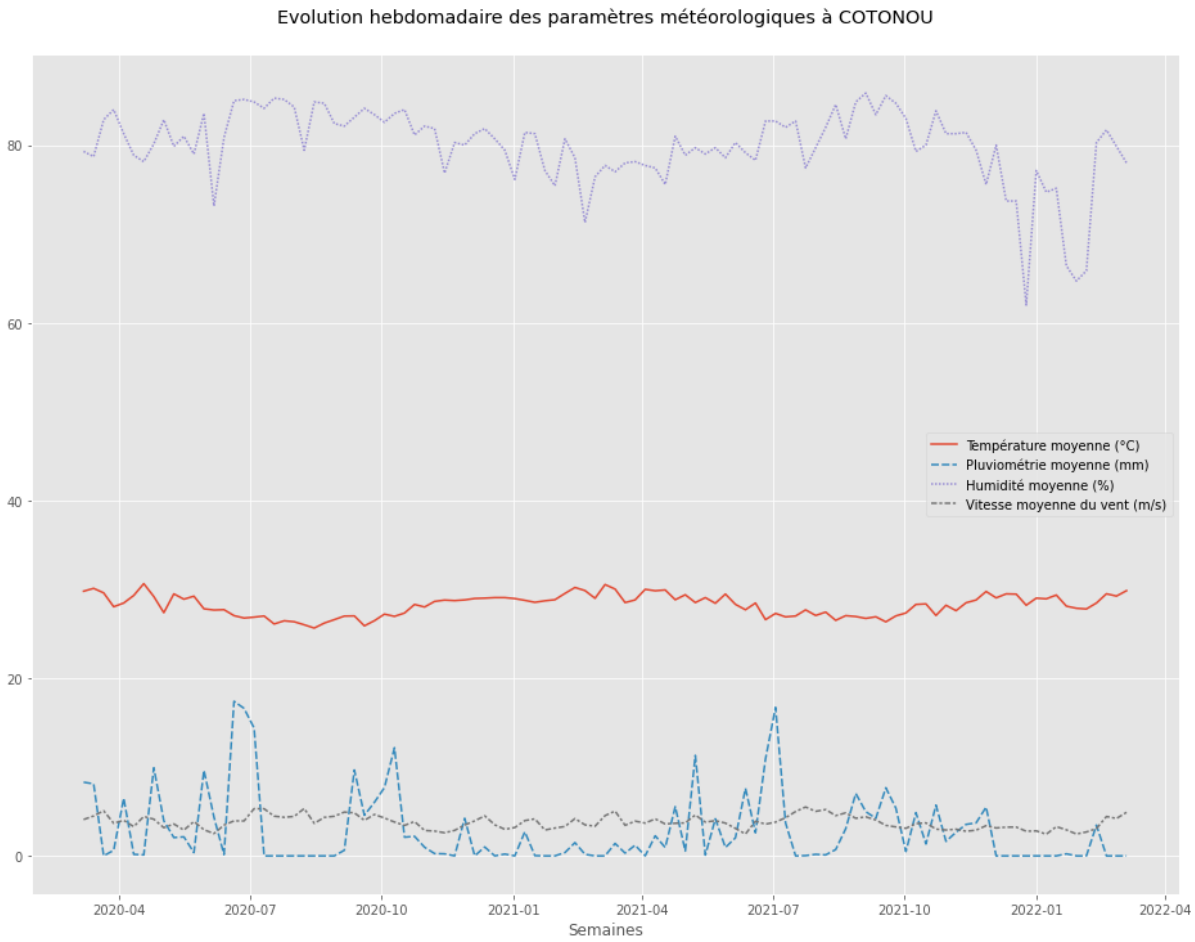


Figure 20: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Cotonou.

4.1.3.2. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Bohicon

Les coefficients de variations des séries de la température, de la pluviométrie, de l'humidité et de la vitesse du vent étaient respectivement de 0,07, 1,54, 0,11 et 0,2. La médiane de la température sur la période d'étude était de 28,38 °C [IQR = 2,99], celle de l'humidité de 76,86 % [IQR = 12,83] et celle de la pluviométrie de 0,74 mm [IQR = 3,2]. Quant à la vitesse moyenne du vent, la moyenne était de 2,3 ± 0,47 m/s. La figure 21 présentait l'évolution hebdomadaire de la température (°C), de la pluviométrie (mm), de l'humidité (%) et de la vitesse moyenne du vent (m/s) dans la zone météorologique de Bohicon. On notait que

la température et l'humidité évoluait en sens opposés et présentaient chacune une évolution saisonnière. Ainsi, sur le premier cycle, la température tend à diminuer jusqu'en août contrairement à l'humidité qui tend à augmenter jusqu'en juillet. On notait ensuite une augmentation de la température jusqu'en mars du cycle suivant tandis que l'humidité diminuait. En ce qui concerne la pluviométrie, l'évolution était également saisonnière et on notait une succession de pics d'amplitudes variées entre avril et septembre puis une allure plate de la courbe entre octobre et mars avec des valeurs presque nulles. La courbe d'évolution de la vitesse moyenne du vent avait une allure relativement constante.

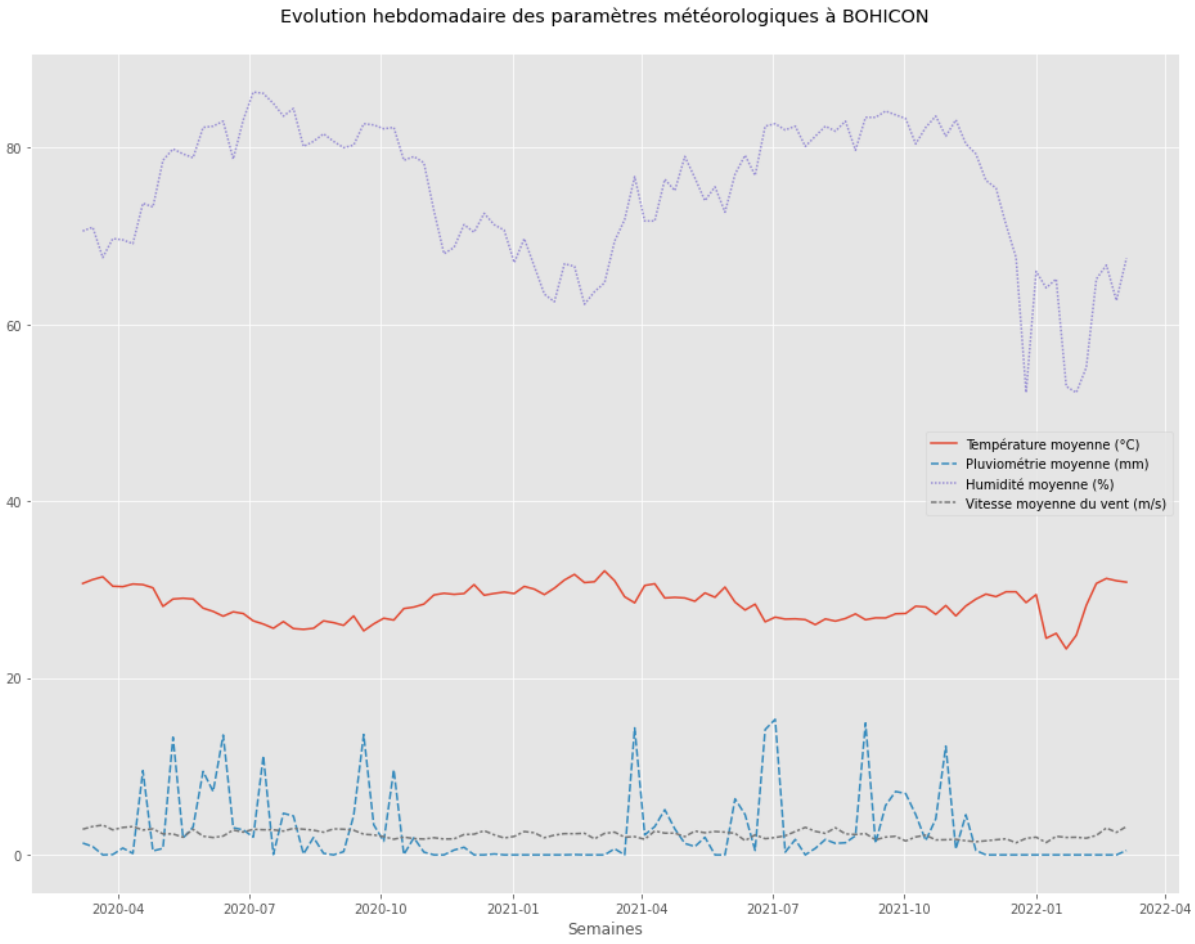


Figure 21: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Bohicon.

4.1.3.3. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Parakou

Les coefficients de variations des séries de la température, de la pluviométrie, de l'humidité et de la vitesse du vent étaient respectivement de 0,07, 1,36, 0,29 et 0,2. La médiane de la température sur la période d'étude était de 27,89 °C [IQR = 3,14], celle de l'humidité de 67,14 % [IQR = 37,29] et celle de la pluviométrie de 1,33 mm [IQR = 6,03]. Quant à la vitesse moyenne du vent, la moyenne était de 2,37 ± 0,47 m/s. La figure 22 présentait l'évolution hebdomadaire de la température (°C), de la pluviométrie (mm), de l'humidité (%) et de la vitesse moyenne du vent (m/s) dans la zone météorologique de Parakou. On observe que la température, l'humidité et la pluviométrie présentent une évolution saisonnière rigide. La température baissait progressive de mars à août avec atteinte de son minimum puis une remontée progressive jusqu'en avril du cycle suivant où elle semblait atteindre son pic. Quant à la pluviométrie, on notait des variations de grandes amplitudes (~60mm) entre le maximum atteint août-septembre et le minimum en mars. La courbe d'évolution de la vitesse moyenne du vent avait une allure relativement constante.

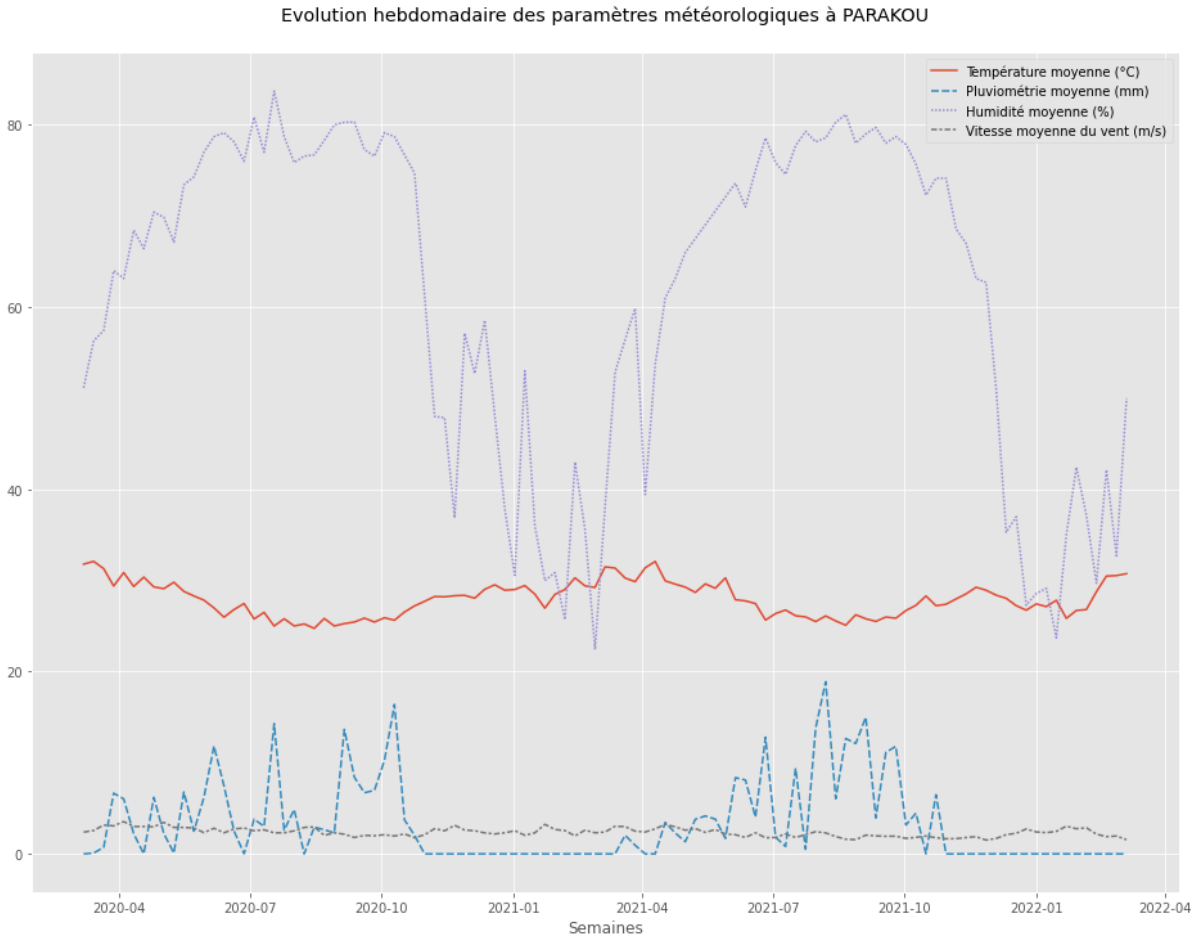


Figure 22: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Parakou.

4.1.3.4. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Kandi

Les coefficients de variations des séries de la température, de la pluviométrie, de l'humidité et de la vitesse du vent étaient respectivement de 0,09, 1,6, 0,4 et 0,39. La médiane de la température sur la période d'étude était de 27,77 °C [IQR = 1], celle de l'humidité de 54,71 % [IQR = 41,85] et celle de la pluviométrie de 0 mm [IQR = 4,77]. Quant à la vitesse moyenne du vent, la moyenne était de 2,01 ± 0,78 m/s. La figure 23 présentait l'évolution hebdomadaire de la température (°C), de la pluviométrie (mm), de l'humidité (%) et de la vitesse moyenne du vent (m/s) dans la zone météorologique de Kandi. On observe que la température,

l'humidité et la pluviométrie présentent une évolution saisonnière rigide. Les courbes d'évolution de la pluviométrie et de l'humidité semblaient parallèles marquées par une pente positive de mars à septembre et une pente négative de septembre à octobre pour la pluviométrie et de septembre à février pour l'humidité. De novembre à avril, la pluviométrie semblait nulle. Quant à la température, elle est décroissante d'avril à juillet, plus ou moins stable entre août et janvier puis croissante sur les mois de février et mars. La courbe d'évolution de la vitesse moyenne du vent avait une allure relativement constante.

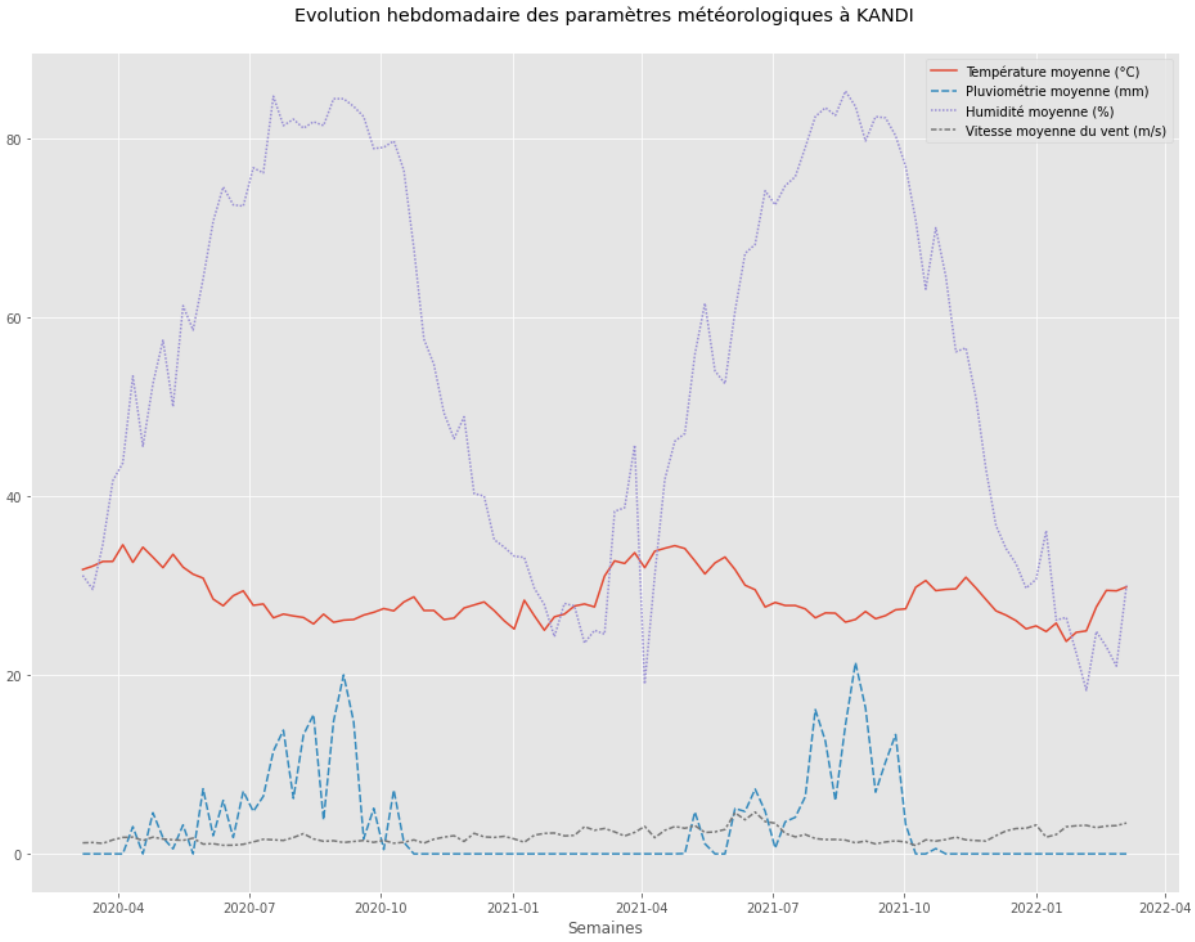


Figure 23: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Kandi.

4.1.3.5. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Savè

Les coefficients de variations des séries de la température, de la pluviométrie, de l'humidité et de la vitesse du vent étaient respectivement de 0,06, 1,40, 0,19 et 0,16. La médiane de la température sur la période d'étude était de 28,66 °C [IQR = 2,96], celle de l'humidité de 72,14 % [IQR = 18,29] et celle de la pluviométrie de 1,01 mm [IQR = 4,23]. Quant à la vitesse moyenne du vent, la moyenne était de 1,86 ± 0,30 m/s. La figure 24 présentait l'évolution hebdomadaire de la température (°C), de la pluviométrie (mm), de l'humidité (%) et de la vitesse moyenne du vent (m/s) dans la zone météorologique de Savè. On observe que la température, l'humidité et la pluviométrie présentent une évolution saisonnière rigide. Les courbes d'évolution de la pluviométrie et de l'humidité semblaient parallèles marquées par une pente positive d'avril à juillet et une pente négative d'août à octobre pour la pluviométrie et d'août à décembre pour l'humidité. De novembre à mars, la pluviométrie semblait nulle. Quant à la température, elle est décroissante d'avril à août puis croissante sur les mois de septembre à mars. La courbe d'évolution de la vitesse moyenne du vent avait une allure relativement constante.

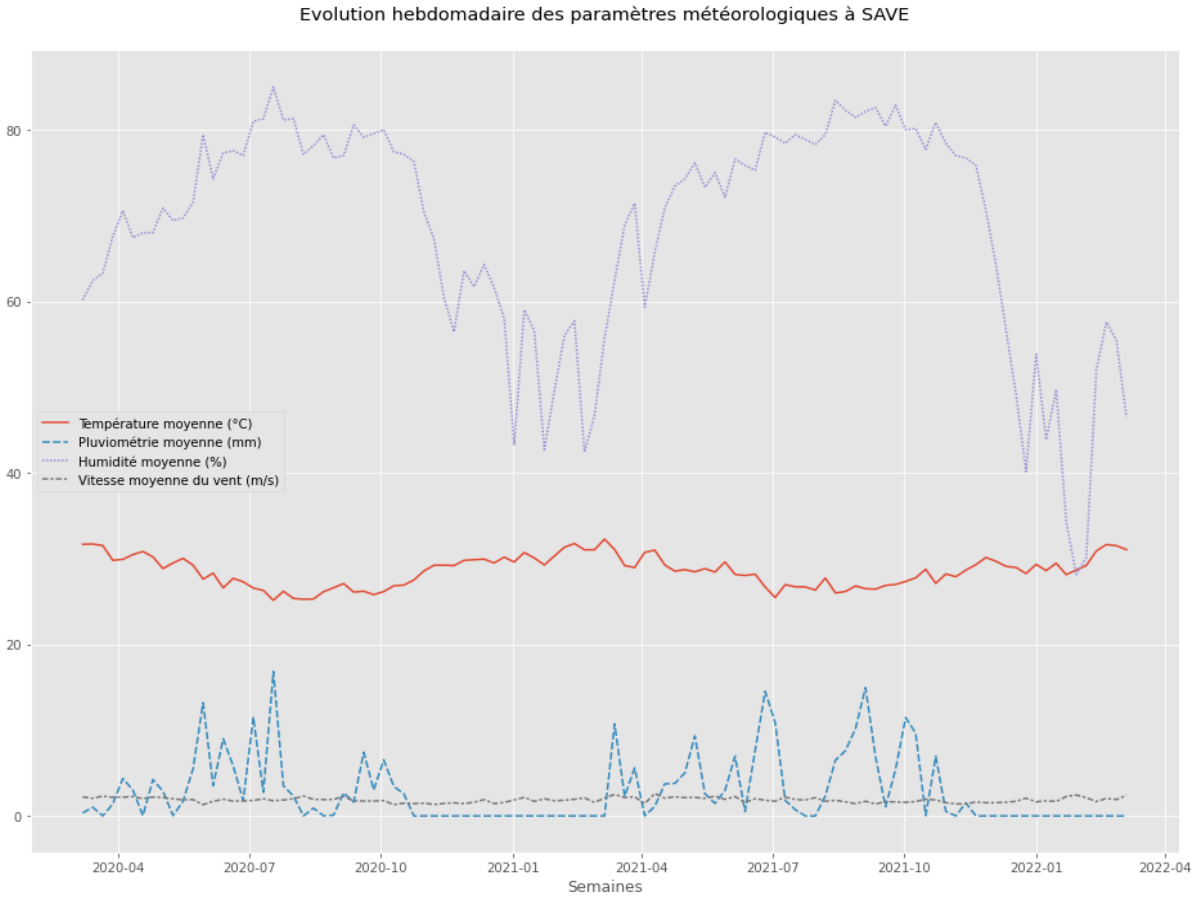


Figure 24: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Savè.

4.1.3.6. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Natitingou

Les coefficients de variations des séries de la température, de la pluviométrie, de l'humidité et de la vitesse du vent étaient respectivement de 0,07, 1,62, 0,28 et 0,21. La médiane de la température sur la période d'étude était de 26,66 °C [IQR = 3,02], celle de l'humidité de 70,29 % [IQR = 30,14] et celle de la pluviométrie de 1,01 mm [IQR = 3,97]. Quant à la vitesse moyenne du vent, la moyenne était de 1,84 ± 0,39 m/s. La figure 25 présentait l'évolution hebdomadaire de la température (°C), de la pluviométrie (mm), de l'humidité (%) et de la vitesse moyenne du vent (m/s) dans la zone météorologique de Natitingou. On observe que la température, l'humidité et la pluviométrie présentent une évolution

saisonnière rigide. La température était décroissante de mars à juillet, plus ou moins stable entre août et janvier puis croissante sur les mois de février et mars. L'humidité était croissante de mars à juin, plus ou moins constante sur les mois de juillet à septembre puis décroissante jusqu'en février. La pluviométrie était croissante d'avril à juillet puis décroissante d'août à octobre. De novembre à mars, elle était stable et pratiquement nulle. La courbe d'évolution de la vitesse moyenne du vent avait une allure relativement constante.

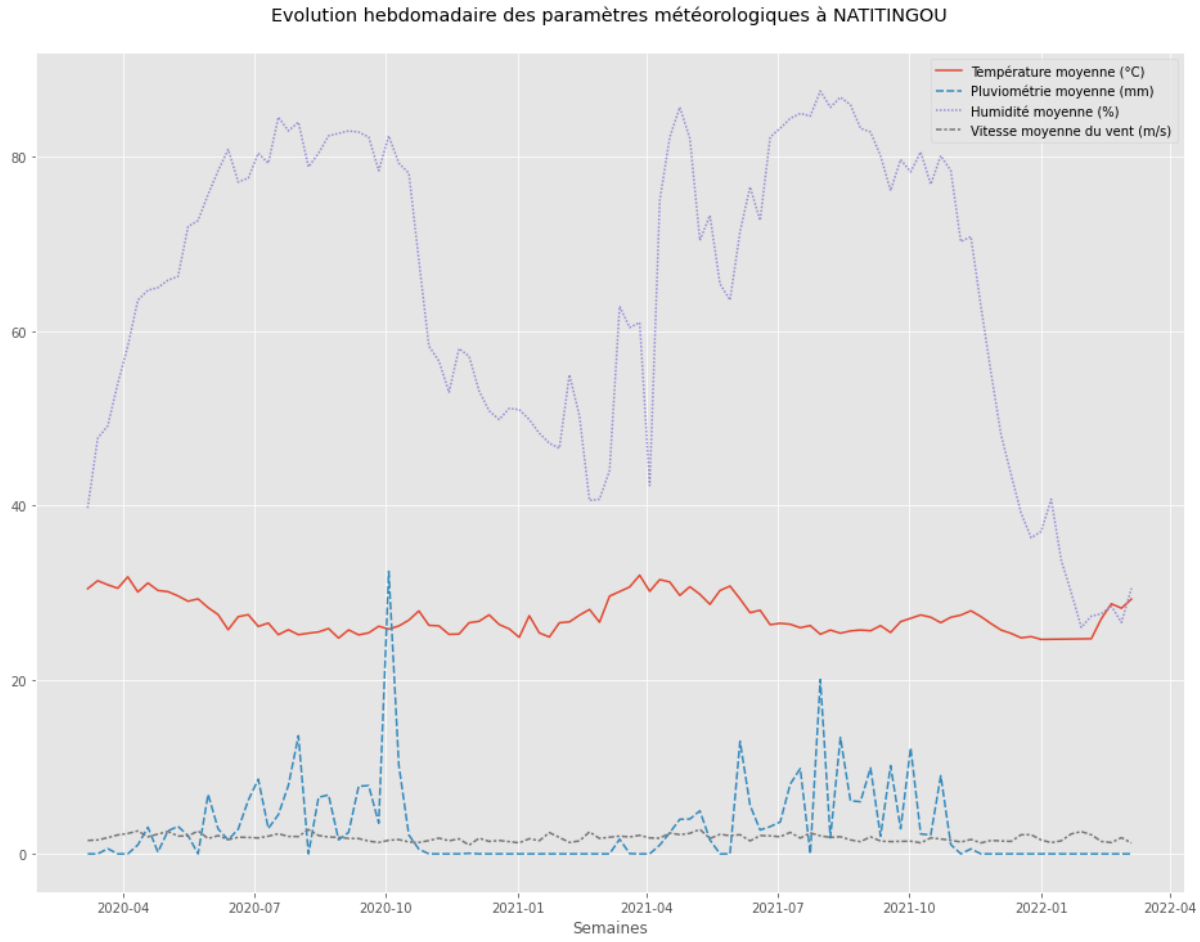


Figure 25: Evolution hebdomadaire des paramètres climatiques dans la zone météorologique de Natitingou.

4.2. Analyse bivariée

4.2.1. Représentation des nuages de points du taux d'incidence en fonction des paramètres climatiques

Afin de rechercher la relation entre les paramètres climatiques et le taux d'incidence dans chaque zone météorologique, les valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres climatiques étaient prises en compte. La représentation graphique (figure 26) du taux d'incidence en fonction des paramètres météorologiques montrait qu'il n'existait pas une relation entre les paramètres climatiques et le taux d'incidence dans toutes les zones météorologiques.



Figure 26: Représentations graphiques (nuages de points) du taux d'incidence en fonction des paramètres météorologiques.

4.2.2. Test de corrélation des rangs de Spearman

Afin de vérifier ces observations, nous avions réalisé le test de corrélation des rangs de Spearman, les variables ne présentant pas une distribution normale.

4.2.2.1. Test de corrélation des rangs de Spearman à Cotonou

Le tableau VI présente les résultats du test de corrélation des rangs de Spearman entre le taux d'incidence et les paramètres climatiques à Cotonou. Il ressortait du tableau que seule la vitesse minimale du vent était significative avec une corrélation faiblement positive (r = 0,20, p = 0,045) au taux d'incidence.

Tableau VI: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Cotonou.

Test de corrélation des rangs de Spearman	Temp			Hum			Pluvio			Vit vent		
	moy	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**
Coefficient r	-0,18	-0,08	-0,19	0,10	0,05	0,11	-0,17	-0,01	-0,16	0,16	**0,20**	0,13
p-value	0,07	0,08	0,052	0,3	0,60	0,26	0,09	0,91	0,10	0,11	**0,045**	0,18

4.2.2.2. Test de corrélation des rangs de Spearman à Bohicon

Le tableau VII présente les résultats du test de corrélation des rangs de Spearman entre le taux d'incidence et les paramètres climatiques à Bohicon. Il ressortait du tableau qu'aucun paramètre météorologique n'était significativement corrélé au taux d'incidence à Bohicon. La corrélation entre le taux d'incidence et la pluviométrie minimale n'avait pu être estimée car toutes les valeurs de la pluviométrie minimale étaient nulles.

Tableau VII: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Bohicon.

Test de corrélation des rangs de Spearman	Temp			Hum			Pluvio			Vit vent		
	moy	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**
Coefficient r	-0,19	-0,12	-0,19	0,16	0,13	0,12	0,07		0,06	-0,05	-0,03	-0,08
p-value	0,057	0,22	0,056	0,11	0,19	0,20	0,5		0,56	0,64	0,75	0,43

4.2.2.3. Test de corrélation des rangs de Spearman à Kandi

Le tableau VIII présente les résultats du test de corrélation des rangs de Spearman entre le taux d'incidence et les paramètres climatiques à Kandi. On remarquait que les températures moyenne, minimale et maximale étaient significativement corrélées au taux d'incidence. La corrélation était faiblement négative pour les températures moyenne (r = -0,34, p = 0,00), minimale (r = -0,30, p = 0,00) et maximale (r = -0,37, p = 0,00). On notait également l'existence d'une corrélation significative et faiblement négative entre le taux d'incidence et la vitesse moyenne du vent (r = -0,19, p = 0,047).

Tableau VIII: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Kandi.

Test de corrélation des rangs de Spearman	Temp			Hum			Pluvio			Vit vent		
	moy	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**
Coefficient r	**-0,34**	**-0,30**	**-0,37**	0,11	0,14	0,09	0,08	0,16	0,07	**-0,19**	-0,16	-0,20
p-value	**0,00**	**0,00**	**0,00**	0,25	0,16	0,38	0,43	0,10	0,5	**0,047**	0,1	0,03

4.2.2.4. Test de corrélation des rangs de Spearman à Parakou

Le tableau IX présente les résultats du test de corrélation des rangs de Spearman entre le taux d'incidence et les paramètres climatiques à Parakou. On remarquait que les températures moyenne et maximale étaient significativement corrélées au taux d'incidence. La corrélation était faiblement négative pour les températures moyenne (r = -0,29, p = 0,00) et maximale (r = -0,28, p = 0,00). On notait également l'existence d'une corrélation significative et faiblement négative entre le taux d'incidence et la vitesse minimale du vent (r = -0,23, p = 0,019).

Tableau IX: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Parakou.

Test de corrélation des rangs de Spearman	Temp			Hum			Pluvio			Vit vent		
	moy	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**
Coefficient r	**-0,29**	-0,17	**-0,28**	0,08	0,12	0,17	-0,00	0,13	-0,04	-0,15	**-0,23**	-0,14
p-value	**0,00**	0,08	**0,00**	0,40	0,21	0,07	0,99	0,18	0,66	0,12	**0,019**	0,14

4.2.2.5. Test de corrélation des rangs de Spearman à Natitingou

Le tableau X présente les résultats du test de corrélation des rangs de Spearman entre le taux d'incidence et les paramètres climatiques à Natitingou. On remarquait que seulement la température moyenne était significativement corrélée au taux d'incidence avec un coefficient de corrélation faiblement négatif (r = -0,20, p = 0,039). La corrélation entre le taux d'incidence et la pluviométrie minimale n'avait pu être estimée car toutes les valeurs de la pluviométrie minimale étaient nulles.

Tableau X: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Natitingou.

Test de corrélation des rangs de Spearman	Temp			Hum			Pluvio			Vit vent		
	moy	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**
Coefficient r	**-0,20**	-0,18	-0,19	0,10	0,10	0,11	0,04		0,03	-0,11	-0,07	-0,09
p-value	**0,039**	0,06	0,053	0,3	0,3	0,25	0,71		0.8	0,27	0,45	0,35

4.2.2.6. Test de corrélation des rangs de Spearman à Savè

Le tableau XI présente les résultats du test de corrélation des rangs de Spearman entre le taux d'incidence et les paramètres climatiques à Savè. Il ressortait du tableau qu'aucun paramètre météorologique n'était significativement corrélé au taux d'incidence à Savè.

Tableau XI: Test de corrélation des rangs de Spearman dans la zone météorologique de Savè.

Test de corrélation des rangs de Spearman	Temp			Hum			Pluvio			Vit vent		
	moy	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**	**moy**	**min**	**max**
Coefficient r	0,01	0,05	-0,06	0,02	-0,01	-0,03	-0,02	0,13	-0,06	-0,18	-0,06	-0,14
p-value	0,89	0,6	0,52	0,84	0,95	0,80	0,82	0,18	0,053	0,07	0,51	0,15

4.2.3. Test de Mann-Withney

Les résultats du test de Mann et Whitney à la recherche de l'association entre les saisons climatiques (sèche et pluvieuse) et la COVID-19 dans chaque région climatique (tropicale et équatoriale) sont présentés dans le tableau XII. Il ressort de ce tableau que l'évolution de la COVID-19 est associée aux saisons climatiques dans chacune des régions climatiques.

Tableau XII: Résultats des tests d'association entre les saisons et la COVID-19 au Bénin.

Régions climatiques	*p-value* (<0,05)
Zone tropicale	0,01
Zone équatoriale	0,0005

4.3. Analyse multivariée

4.3.1. Application de la régression linéaire multiple à la recherche de la saisonnalité au Bénin

Afin de mettre en évidence l'effet des variations saisonnières précédemment observées sur l'évolution de la COVID-19, nous avions estimé un modèle de régression linéaire multiple selon la méthode des moindres carrés ordinaires. Le tableau XIII présente les résultats du modèle. On y note que la statistique calculée par le logiciel Python était F = 20,92 et la probabilité associée était inférieure à 5% (0,00 < 0,05) donc le modèle était globalement significatif. Par ailleurs, l'ensemble des mois expliquait 9,9% du taux d'incidence. Les résultats de l'estimation du modèle montraient que les mois de mai, juin, août et septembre était ceux significatifs. On retenait que les mois de mai et juin étaient associés à une baisse du nombre de cas contrairement aux mois d'août et septembre qui étaient associés à une augmentation du nombre de cas. Les mois de février et avril n'étaient pas significatifs. Ces observations venaient affiner celles faites lors de l'analyse descriptive des courbes d'évolution du taux d'incidence.

Tableau XIII: Résultats du modèle de régression linéaire estimant l'effet des mois sur le taux d'incidence au Bénin.

Variables (mois)	Coefficient	Intervalle	Probabilité
Mai	-0.3444	[-0.634,-0.054]	0,020
Juin	-0.3153	[-0.622,-0.009]	0,044
Août	0.5091	[0.212,0.807]	0,001
Septembre	0.5520	[0.245,0.859]	0,000
R carré : 0,115	**F statistique :**7,313	**Log-Likelihood :** -737,20	
R carré ajusté :0,099	**Prob F statistique :** 8,08e-12		

4.3.2. Application de la régression linéaire multiple à la recherche de l'impact des paramètres climatiques sur l'évolution de la COVID-19.

Afin de mettre en évidence l'effet des paramètres climatiques sur l'évolution de la COVID-19, nous avions également estimé un modèle de régression linéaire multiple selon la méthode des moindres carrés ordinaires. Nous avions opéré une transformation logarithmique des variables afin de normaliser leur distribution.

4.3.2.1. Zone météorologique de Cotonou

Le tableau XIV présente les résultats du modèle. Il en ressortait que le modèle spécifié n'était pas globalement significatif au seuil de 5%. En effet, la probabilité associée à la significativité globale du modèle était supérieure à 5% (0,209 > 0,05). Par conséquent, le modèle n'avait pu être interprété. On déduisait que les paramètres météorologiques à eux seuls ne sauraient expliquer l'évolution du taux d'incidence de la COVID-19 dans la zone météorologique de Cotonou.

Tableau XIV: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Cotonou.

R carré	R carré ajusté	F statistique	Prob F statistique	Log-Likelihood
0,149	0,038	1,342	0,209	-139,23

4.3.2.2. Zone météorologique de Bohicon

Le tableau XV présente les résultats du modèle. Le modèle spécifié n'était également pas globalement significatif au seuil de 5%. La probabilité associée à la significativité globale du modèle était supérieure à 5% (0,791 > 0,05). Par conséquent, le modèle n'avait pu être interprété. On déduisait que les paramètres météorologiques à eux seuls ne sauraient expliquer l'évolution du taux d'incidence de la COVID-19 dans la zone météorologique de Bohicon.

Tableau XV: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Bohicon.

R carré	R carré ajusté	F statistique	Prob F statistique	Log-Likelihood
0,070	-0,040	0,6389	0,791	-95,288

4.3.2.3. Zone météorologique de Savè

Le tableau XVI présente les résultats du modèle. La probabilité associée à la significativité globale du modèle était supérieure à 5% (0,190 > 0,05). Par conséquent, le modèle n'avait pu être interprété. On déduisait que les paramètres météorologiques à eux seuls ne sauraient expliquer l'évolution du taux d'incidence de la COVID-19 dans la zone météorologique de Savè.

Tableau XVI: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Savè.

R carré	R carré ajusté	F statistique	Prob F statistique	Log-Likelihood
0,152	0,042	1,379	0,190	52,321

4.3.2.4. Zone météorologique de Kandi

Le tableau XVII présente les résultats du modèle. La probabilité associée à la significativité globale du modèle était supérieure à 5% (0,06 > 0,05). Par conséquent, le modèle n'avait pu être interprété. On déduisait que les paramètres météorologiques à eux seuls ne sauraient expliquer l'évolution du taux d'incidence de la COVID-19 dans la zone météorologique de Kandi.

Tableau XVII: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Kandi.

R carré	R carré ajusté	F statistique	Prob F statistique	Log-Likelihood
0,188	0,082	1,773	0,0643	-45,668

4.3.2.5. Zone météorologique de Natitingou

Le tableau XVIII présente les résultats du modèle. La probabilité associée à la significativité globale du modèle était supérieure à 5% (0,19 > 0,05). Par conséquent, le modèle n'avait pu être interprété. On déduisait que les paramètres météorologiques à eux seuls ne sauraient expliquer l'évolution du taux d'incidence de la COVID-19 dans la zone météorologique de Natitingou.

Tableau XVIII: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Natitingou.

R carré	R carré ajusté	F statistique	Prob F statistique	Log-Likelihood
0,142	0,040	1,395	0,1883	-99,914

4.3.2.6. Zone météorologique de Parakou

Le tableau XIX présente les résultats du modèle. On y note que la statistique calculée par le logiciel Python était F = 2,95 et la probabilité associée était inférieure à 5% (0,001 < 0,05) donc le modèle était globalement significatif. Par ailleurs, l'ensemble des paramètres climatiques expliquait 27,8% du taux d'incidence. Cependant, les résultats de l'estimation du modèle montraient qu'aucun paramètre climatique n'avait un effet significatif sur le taux d'incidence. On déduisait donc que les paramètres météorologiques à eux seuls pouvaient expliquer à 27,8% l'évolution du taux d'incidence de la COVID-19. Cependant, aucun paramètre pris isolé n'avait un effet sur la COVID-19 dans la zone météorologique de Parakou.

Tableau XIX: Résultats du modèle de régression linéaire multiple entre les paramètres météorologiques et le taux d'incidence dans la zone météorologique de Parakou.

R carré	R carré ajusté	F statistique	Prob F statistique	Log-Likelihood
0,278	0,042	0,184	0,00162	-103,75

5. DISCUSSION

La discussion des résultats de notre étude s'articulera autour des points suivants :

- Atteinte des objectifs
- Validité des résultats et biais
- Commentaires et comparaison des résultats avec la littérature

5.1. Atteinte des objectifs

Au terme de notre étude, il ressort que la COVID-19 avait subi des variations saisonnières en 2020 qui s'étaient répétées sur les mêmes périodes en 2021. Ces variations étaient fonction des saisons climatiques. Ainsi, en zone tropicale, on observe une augmentation du nombre de cas de la COVID-19 durant les saisons de pluie. Cependant, en zone équatoriale, l'augmentation est observée durant les saisons sèches. Ces constats viennent confirmer notre première hypothèse selon laquelle l'évolution de la COVID-19 au Bénin entre le 01er mars 2020 et le 28 février 2022 était saisonnière. En ce qui concerne notre deuxième hypothèse selon laquelle les variations périodiques et saisonnières des paramètres climatiques entre le 01er mars 2020 et le 28 février 2022 étaient associées à celles du taux d'incidence de la COVID-19 sur cette même période, elle était partiellement vérifiée. En effet, l'augmentation de la vitesse minimale hebdomadaire du vent ($r = 0,20$, $p = 0,045$) en zone équatoriale était associée à une augmentation du taux d'incidence. De plus, en zone tropicale, dans le département de l'Alibori, l'augmentation des températures hebdomadaires moyenne ($r = -0,34$, $p = 0,00$), minimale ($r = -0,3$, $p = 0,00$) et maximale ($r = -0,37$, $p = 0,00$), de la vitesse minimale hebdomadaire du vent ($r = -0,19$, $p = 0,047$) était associée à une diminution du taux d'incidence. Dans le département du Borgou toujours en zone tropicale, une augmentation de la température hebdomadaire moyenne ($r = -0,29$, $p = 0,00$) et maximale ($r = -0,28$, $p = 0,00$) ainsi que de la vitesse minimale hebdomadaire du vent ($r = -0,23$, $p = 0,00$) était associée à une diminution du taux d'incidence. Enfin, dans les départements de l'Atacora et du Donga toujours en zone tropicale, une diminution de la température moyenne hebdomadaire (r = -

0,20, p = 0,039) était associée à une augmentation du nombre de cas de la COVID-19. Cependant, aucune relation de causalité entre l'ensemble des paramètres climatiques et l'évolution de la COVID-19 n'avait pu être identifiée dans tous les départements, à l'exception de celui du Borgou où les paramètres climatiques pris ensemble n'expliquaient que 27,9% de l'évolution du taux d'incidence dans ce département

5.2. Validité des résultats et biais

Des biais de sélection pourraient affecter la qualité des données collectées et donc la validité des résultats. En effet, en dépit de l'échantillonnage exhaustif de notre étude, le nombre de malades atteints de la COVID-19 et enregistrés durant notre période d'étude pourrait être sous-estimé (résilience et faible croyance de la population, absence de dépistage de masse, faux négatifs des tests de dépistage). L'échantillon pourrait également ne pas être représentatif de la population générale du fait de la sélectivité de certaines campagnes de dépistages systématiques effectuées durant notre période d'étude. De plus, l'absence de données indispensables à la conduite de notre étude (provenance, date de prélèvement) avait conduit à l'exclusion de 15% des données initialement reçues. Des biais d'information pourrait aussi résulter de la correspondance entre les patients et les zones météorologiques ainsi qu'avec les régions climatiques. En effet, ces zones et régions n'avaient pas des limites précises.

5.3. Limites de l'étude

Les limites de notre étude étaient liées à des contraintes de temps en ce qui concerne la mise à disposition des données des patients atteints de la COVID-19. De plus, d'autres variables pouvant influencer la variabilité du taux d'incidence tels que la cartographie des variants, le statut immunitaire des patients, la profession ainsi que les mesures préventives subies n'avaient pu être obtenues.

Des difficultés avaient également été rencontrées dans l'application de certaines analyses des données.

5.4. Commentaires et comparaison des résultats avec la littérature

5.4.1. Evolution de la COVID-19

Notre étude montrait que l'évolution dans le temps de la COVID-19 au Bénin entre le 01er mars 2020 et le 28 février 2022 était marquée par diverses variations dont certaines étaient périodiques. On observait une augmentation durant les mois de juillet, août et septembre des années 2020 et 2021 et une diminution durant les mois de mai et juin des années 2020 et 2021. Au Canada, Lagacé-Wiens et al avaient également fait ce constat dans une étude en ce qui concerne les autres Coronavirus endémiques. Ces derniers provoquaient des éclosions saisonnières annuelles pendant les mois d'hiver [49]. Cette saisonnalité de la COVID-19 au Bénin était également dépendante des saisons climatiques dans notre étude. Ainsi, nous avions observé qu'en zone tropicale, le nombre de cas était élevé durant les saisons pluvieuses, correspondant au passage de la mousson d'été. Choi et al, dans leur étude réalisée dans cinq pays dont trois au climat tempéré (Canada, Allemagne, Chili) et deux au climat tropical (Inde et Ethiopie) avaient également mis en évidence des variations saisonnières de la COVID-19. Dans les pays tropicaux, les cas culminaient pendant les moussons d'été alors que dans les pays à climat tempéré, la COVID-19 atteignait son pic durant les mois d'hiver [10]. Liu et al avaient également mis en évidence des variations saisonnières marquées par des pics durant l'hiver. Cependant, ils suggéraient que ces grandes variations saisonnières n'étaient observées que dans les régions où les variations des paramètres climatiques étaient importantes [50]. Aucune étude n'avait étudié la saisonnalité de la COVID-19 en zone équatoriale. En effet, cette zone est marquée globalement par une seule saison, avec une humidité et une température élevées et constantes. Au Bénin, c'est le passage de la mousson d'été qui est à l'origine

des variations climatiques observées. Dans notre étude, l'augmentation du nombre de cas était plutôt marquée en saisons sèches.

5.4.2. Corrélation entre le taux d'incidence et les paramètres facteurs climatiques

En zone tropicale, on notait dans notre étude que la saison des pluies était associée à une augmentation du taux d'incidence de la COVID-19. On retrouvait l'existence d'une association entre les saisons climatiques et le taux d'incidence (*p-value* = 0,01). L'évolution des paramètres climatiques était saisonnière et leurs variations étaient liées à celles des saisons climatiques. L'association entre le taux d'incidence et les saisons et entre les saisons et les paramètres climatiques en zone tropicale suggérait l'existence d'une association entre les paramètres climatiques et le taux d'incidence qui était partiellement vérifiée lors des tests de corrélation des rangs de Spearman entre les paramètres climatiques et le taux d'incidence. Ainsi, dans la zone météorologique de Kandi, des associations significatives avec le taux d'incidence étaient retrouvées seulement avec les températures maximale (r_s = -0,37), moyenne (r_s = -0,34) et minimale (r_s = -0,30) et avec la vitesse moyenne du vent (r_s = -0,19). Dans la zone météorologique de Natitingou, une association significative était retrouvée seulement avec la température moyenne (r_s = -0,20). Dans la zone météorologique de Parakou, des associations significatives avec le taux d'incidence étaient retrouvées seulement avec les températures moyenne (r_s = -0,29) et maximale (r_s = -0,28) et avec la vitesse minimale hebdomadaire du vent (r_s = -0,23). Aucune association n'avait été retrouvée entre l'humidité et la pluviométrie dans ces zones. Dans la zone météorologique de Savè, aucune association n'avait été retrouvée entre le taux d'incidence et les paramètres météorologiques. Ainsi, on retenait qu'une augmentation de la température et de la vitesse du vent était associée à une diminution du taux d'incidence. Rosario et al, en 2020 à Rio de Janeiro, une ville ayant un climat tropical et située au Brésil, avaient également retrouvé dans leur

étude une association négative avec la température moyenne journalière (r_s = -0,406) et la vitesse moyenne journalière du vent (r_s = -0,440). Cependant, contrairement à notre étude, il retrouvait une corrélation positive avec l'humidité moyenne (r_s = 0,265) et la pluviométrie (r_s = 0,127) [51]. Shari et Dey avaient aussi retrouvé dans leur étude réalisée en 2021 au Bangladesh une corrélation négative avec la température maximale (r_s = -0,332), l'humidité moyenne (r_s = -0,399) mais positive avec la vitesse moyenne du vent (r_s = 0,399) [52]. L'estimation de l'effet isolé des paramètres climatiques sur l'évolution de la COVID-19 en zone tropicale au Bénin était non significative à l'exception de la zone météorologique de Parakou où l'effet de l'ensemble des paramètres climatiques était estimé à 27,8%. Cependant, aucun paramètre climatique pris isolément n'influençait l'évolution de la COVID-19. En zone équatoriale, les saisons sèches étaient associées à une augmentation du taux d'incidence de la COVID-19. On retrouvait l'existence d'une liaison significative entre les saisons climatiques et l'évolution du taux d'incidence au test de Mann-Whitney (p = 0.0005). L'évolution des paramètres climatiques n'étaient pas corrélées à celle des saisons en zone équatoriale. L'humidité et la température étaient élevées et presque constantes toute l'année.

Il n'y avait pas de corrélation significative avec les paramètres climatiques à l'exception de la vitesse moyenne du vent dans la zone météorologique de Cotonou où une association positive était retrouvée. Rendana en 2020 au Jakarta, une ville à climat équatorial située en Indonésie n'avait également pas retrouvé une corrélation avec la température, l'humidité et la pluviométrie avec l'incidence de la COVID-19. Cependant, il avait retrouvé une corrélation négative avec la vitesse du vent (r_s = -0,537) [53]. Au Nigéria à Lagos, Ogaugwu avait retrouvé en 2020 une corrélation négative et faible avec les températures maximale (r_s = -0,356) et moyenne (r_s = -0,327). Il n'avait pas retrouvé une association avec l'humidité [5]. L'estimation de l'effet isolé des paramètres climatiques sur l'évolution de la COVID-19 en zone équatoriale au Bénin était non significative.

En somme, l'effet des paramètres climatiques est très peu significatif. L'absence de corrélation linéaire à l'issue des tests entre l'évolution du taux d'incidence de la COVID-19 et certains paramètres climatiques, la variabilité des associations (positives ou négatives) en fonction des régions des paramètres climatiques sur la COVID-19 pourrait être due à l'effet confondant d'autres variables. C'est ainsi que Jüni et al en 2020 dans leur étude menée dans 144 régions géopolitiques de la planète avait retrouvé une corrélation plus étroite entre d'autres variables comme les interventions de santé publique avec la progression de l'épidémie de COVID-19 qu'avec les paramètres climatiques [54].

CONCLUSION

Notre travail a permis d'étudier l'évolution de la COVID-19 au Bénin entre le 01er mars 2020 et le 28 février 2022 ainsi que l'association entre des paramètres climatiques (température, humidité, pluviométrie, vitesse du vent) et cette évolution. Il en ressort qu'au Bénin, l'évolution de la COVID-19 entre le 01er mars 2020 et 28 février 2022 était marquée par des flambées en saison des pluies en zone tropicale et en saison sèches en zone équatoriale. Les variations des paramètres climatiques (température et vitesse du vent) étaient associées à l'évolution de la COVID-19 dans certaines régions du Bénin entre le 01er mars 2020 et le 28 février 2022. D'autres variables devraient être prises en compte pour mieux expliquer l'évolution de la COVID-19.

SUGGESTIONS

Au terme de notre étude et sur la base des résultats obtenus, les suggestions suivantes ont été formulées :

- **A l'endroit des autorités politiques et administratives de notre pays**
  - Renforcer l'application des mesures barrières durant les saisons sèches au Sud et pluvieuses au Nord et au Centre du pays.
  - Renforcer les capacités des centres de dépistage de la COVID-19.
  - Assurer une bonne collecte des données épidémiologiques relatives à la COVID-19 au Bénin.
  - Assurer la promotion de la vaccination contre la COVID-19.

- **A l'endroit de la communauté scientifique**
  - Reprendre cette étude dans l'avenir, épidémiologistes et météorologues étant associés, en incluant d'autres variables comme les interventions de santé publique, les variants, l'état d'immunité de la population.
  - Mettre en place des systèmes performants de collecte de données épidémiologiques.

- **A l'endroit de la population**
  - Appliquer les gestes barrières et respecter les mesures instaurées par les autorités sanitaires.

REFERENCES

1. Bordea M, Klein G, Salanta L, Muntean D, Urda F, Dolha A, et al. COVID-19 Pandemic an Update for Celiac Community. International Journal of Celiac Disease. 2 Juil 2020;8(2):68-75.

2. Xu Z, Hu W, Williams G, Clements ACA, Kan H, Tong S. Air pollution, temperature and pediatric influenza in Brisbane, Australia. Environ Int. Sept 2013;59:384-8.

3. Organisation mondiale de la santé [En ligne]. Grippe saisonnière [cité le 29 juin 2022]. Disponible: https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/influenza-(seasonal)

4. Tan J. An initial investigation of the association between the SARS outbreak and weather: with the view of the environmental temperature and its variation. Journal of Epidemiology & Community Health. 1 Mar 2005;59(3):186-92.

5. Ogaugwu C, Mogaji H, Ogaugwu E, Nebo U, Okoh H, Agbo S, et al. Effect of Weather on COVID-19 Transmission and Mortality in Lagos, Nigeria. Scientifica. 21 Août 2020;2020:1-6.

6. Wissem A. Pourquoi la crise Covid-19 est-elle aussi inédite ?. Dans: Crise économique mondiale. 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.23375.92320

7. Organisation mondiale de la santé [En ligne]. Suivi des variants du SARS-CoV-2 [cité le 12 avril 2022]. Disponible : https://www.who.int/fr/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants

8. Moghadas SM, Vilches TN, Zhang K, Wells CR, Shoukat A, Singer BH, et al. The Impact of Vaccination on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreaks in the United States. Clin Infect Dis. 16 déc 2021;73(12):2257-64.

9. Mahieu R, Dubée V. Caractéristiques cliniques et épidémiologiques de la Covid-19. Actualités Pharmaceutiques. 1 oct 2020;59(599):24-6.

10. Choi YW, Tuel A, Eltahir EAB. On the Environmental Determinants of COVID-19 Seasonality. GeoHealth. 2021;5(6):e2021GH000413.

11. Roxane S. Influence du climat sur la pandémie de la COVID-19 au Bénin

[Mémoire de master]. Cotonou: Université d'Abomey Calavi - Faculté des Sciences de la Santé; 2021.

12. Insee [En ligne]. Définition - Taux d'incidence [cité 2 nov 2022]. Disponible: https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1060

13. The Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. The Epidemiological Characteristics of an Outbreak of 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19) — China, 2020. China CDC Wkly. 21 Fév 2020;2(8):113-22.

14. Sun K, Chen J, Viboud C. Early epidemiological analysis of the coronavirus disease 2019 outbreak based on crowdsourced data: a population-level observational study. The Lancet Digital Health. Avr 2020;2(4):201-8.

15. Tezer H, Demirdağ TB. Novel coronavirus disease (COVID-19) in children. Turk J Med Sci. 21 Avr 2020;50(SI-1):592-603.

16. Omori R, Matsuyama R, Nakata Y. The age distribution of mortality from novel coronavirus disease (COVID-19) suggests no large difference of susceptibility by age. Sci Rep. 6 Oct 2020;10(1):16642.

17. Sobotka T, Brzozowska Z, Muttarak R, Zeman K, Lego V di. Age, gender and COVID-19 infections. medRxiv. 2020. DOI: 10.1101/2020.05.24.20111765

18. Magnusson K, Nygård K, Methi F, Vold L, Telle K. Occupational risk of COVID-19 in the first versus second epidemic wave in Norway, 2020. Euro Surveill. oct 2021;26(40):2001875.

19. López L, Rodó X. The end of social confinement and COVID-19 re-emergence risk. Nat Hum Behav. Juil 2020;4(7):746-55.

20. Gouvernement de la République du Bénin [En ligne]. CORONAVIRUS-Guide pour mieux comprendre le cordon sanitaire [cité le 2 novembre 2022]. Disponible: https://www.gouv.bj/actualite/572/coronavirus--guide-mieux-comprendre-cordon-sanitaire/

21. Haug N, Geyrhofer L, Londei A, Dervic E, Desvars-Larrive A, Loreto V, et al. Ranking the effectiveness of worldwide COVID-19 government interventions. Nat Hum Behav. Déc 2020;4(12):1303-12.

22. Santé publique France [En ligne]. Analyse des données disponibles sur les réinfections possibles par le SARS-CoV-2 à partir de la base de données SIDEP. Point au 17 février 2022 [cité le 2 novembre 2022]. Disponible: https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-et-infections-respiratoires/infection-a-coronavirus/documents/enquetes-etudes/analyse-des-donnees-disponibles-sur-les-reinfections-possibles-par-le-sars-cov-2-a-partir-de-la-base-de-donnees-sidep.-point-au-17-février-2022

23. World Health Organization [En ligne]. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard [cité le 25 mai 2022]. Disponible: https://covid19.who.int

24. Holmes EC, Goldstein SA, Rasmussen AL, Robertson DL, Crits-Christoph A, Wertheim JO, et al. The origins of SARS-CoV-2: A critical review. Cell. 16 Sept 2021;184(19):4848-56.

25. Chan JFW, Kok KH, Zhu Z, Chu H, To KKW, Yuan S, et al. Genomic characterization of the 2019 novel human-pathogenic coronavirus isolated from a patient with atypical pneumonia after visiting Wuhan. Emerg Microbes Infect. 28 Jan 2020;9(1):221-36.

26. Xiao S, Qi H, Ward MP, Wang W, Zhang J, Chen Y, et al. Meteorological conditions are heterogeneous factors for COVID-19 risk in China. Environ Res. Juil 2021;198:111182.

27. Lytras S, Xia W, Hughes J, Jiang X, Robertson DL. The animal origin of SARS-CoV-2. Science. 27 Août 2021;373(6558):968-70.

28. Yoshimoto FK. The Proteins of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2 (SARS CoV-2 or n-COV19), the Cause of COVID-19. Protein J. 2020;39(3):198-216.

29. Chen Y, Liu Q, Guo D. Emerging coronaviruses: Genome structure, replication, and pathogenesis. Journal of Medical Virology. 2020;92(4):418-23.

30. Santé publique France [En ligne]. Analyse des données disponibles sur les réinfections possibles par le SARS-CoV-2 à partir de la base de données SIDEP. Point au 12 mai 2022 [cité le 10 juillet 2022]. Disponible: https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-et-infections-respiratoires/infection-a-coronavirus/documents/enquetes-etudes/analyse-des-donnees-disponibles-sur-les-reinfections-possibles-par-le-sars-cov-2-a-partir-de-la-base-de-donnees-sidep.-point-au-12-mai-2022

31. Chan JF, Kok KH, Zhu Z, Chu H, To KK, Yuan S, et al. Genomic characterization of the 2019 novel human-pathogenic coronavirus isolated from a patient with atypical pneumonia after visiting Wuhan. Emerg Microbes Infect. 28 Jan 2020;9(1):221-236.

32. Chen N, Zhou M, Dong X, Qu J, Gong F, Han Y, et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. Lancet. 2020;395(10223):507-13.

33. Triggle CR, Bansal D, Ding H, Islam MM, Farag EABA, Hadi HA, et al. A Comprehensive Review of Viral Characteristics, Transmission, Pathophysiology, Immune Response, and Management of SARS-CoV-2 and COVID-19 as a Basis for Controlling the Pandemic. Front Immunol. 26 Fév 2021;12:631139.

34. Rashedi J, Poor BM, Asgharzadeh V, Pourostadi M, Kafil HS, Vegari A, et al. Risk Factors for COVID-19. Infez Med. 1 Déc 2020;28(4):469-474.

35. Flaubert A. Profil des patients infectés par le SARS-CoV-2 et présentant au moins une comorbidité : aspects épidémiologique, clinique et thérapeutique [Thèse]. Cotonou: Université d'Abomey Calavi - Faculté des Sciences de la Sante; 2021.

36. Bukhari Q, Jameel Y. Will Coronavirus Pandemic Diminish by Summer? [En ligne]. Rochester, NY: Social Science Research Network; 2020 [cité le 27 mai 2022]. Disponible: https://papers.ssrn.com/abstract=3556998

37. Aleem A, Akbar Samad AB, Slenker AK. Emerging Variants of SARS-CoV-2 And Novel Therapeutics Against Coronavirus (COVID-19). Dans: StatPearls [En ligne]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 [cité le 23 mai 2022]. Disponible: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK570580/

38. Lauer SA, Grantz KH, Bi Q, Jones FK, Zheng Q, Meredith HR, et al. The Incubation Period of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) From Publicly Reported Confirmed Cases: Estimation and Application. Ann Intern Med. 5 Mai 2020;172(9):577-82.

39. Savadogo M, Ouattara A, Dahani CK, Nikiéma O, Traoré S, Nagréongo B, et al. Profil épidémiologique et clinique des cas suspects de COVID-19 reçus au CHU Yalgado Ouédraogo du Burkina Faso. Revue Malienne d'Infectiologie et de Microbiologie. 31 Jan 2021;16(1):7-10.

40. Ketfi A, Chabati O, Chemali S, Mahjoub M, Gharnaout M, Touahri R, et al. Profil clinique, biologique et radiologique des patients Algériens hospitalisés pour COVID-19: données préliminaires. Pan Afr Med J. 15 Juin 2020;35(Suppl 2):77.

41. Donamou J, Bangoura A, Camara LM, Camara D, Traoré DA, Abékan RJM, et al. Caractéristiques épidémiologiques et cliniques des patients COVID-19 admis en réanimation à l'hôpital Donka de Conakry, Guinée : étude descriptive des 140 premiers cas hospitalisés. Anesthésie & Réanimation. Mar 2021;7(2):102-9.

42. Owoo C, Oliver-Commey JA, Calys-Tagoe BNL, Oduro-Mensah E, Ofori-Boadu L, Adjei-Mensah E, et al. Sociodemographic and clinical characteristics of the first cohort of COVID-19 recoveries at two national treatment centres in Accra, Ghana. Ghana Med J. Déc 2020;54(4 Suppl):16-22.

43. Adedeji IA, Abdu YM, Bashir MF, Adamu AS, Gwarzo GD, Yaro BS, et al. Profile of children with COVID-19 infection: a cross sectional study from North-East Nigeria. Pan Afr Med J. 2020;35(Suppl 2):145.

44. Rodriguez-Morales AJ, Cardona-Ospina JA, Gutiérrez-Ocampo E, Villamizar-Peña R, Holguin-Rivera Y, Escalera-Antezana JP, et al. Clinical, laboratory and imaging features of COVID-19: A systematic review and meta-analysis. Travel Med Infect Dis. Avr 2020;34:101623.

45. Kantri A, Ziati J, Khalis M, Haoudar A, El Aidaoui K, Daoudi Y, et al. Hematological and biochemical abnormalities associated with severe forms of COVID-19: A retrospective single-center study from Morocco. PLoS One. 4 Fév 2021;16(2):e0246295.

46. El Aidaoui K, Haoudar A, Khalis M, Kantri A, Ziati J, El Ghanmi A, et al. Predictors of Severity in Covid-19 Patients in Casablanca, Morocco. Cureus. 29 Sept 2020;12(9):e10716.

47. Gouvernement de la République du Bénin [En ligne]. Informations coronavirus (covid-19) [cité 10 juillet 2022]. Disponible: https://www.gouv.bj/coronavirus/

48. Organisation mondiale de la santé [En ligne]. Orientations pour la surveillance des variants du SARS-CoV-2 [cité le 11 novembre 2022]. Disponible: https://www.who.int/fr/publications-detail/WHO_2019-nCoV_surveillance_variants

49. Lagacé-Wiens P, Bullard J, Cole R, Van Caeseele P. Le caractère saisonnier du coronavirus et d'autres virus au Canada : les conséquences de la COVID-19. RMTC. 31 Mar 2021;47(3):145-51.

50. Liu X, Huang J, Li C, Zhao Y, Wang D, Huang Z, et al. The role of seasonality in the spread of COVID-19 pandemic. Environ Res. Avr 2021;195:110874.

51. Rosario DKA, Mutz YS, Bernardes PC, Conte-Junior CA. Relationship between COVID-19 and weather: Case study in a tropical country. Int J Hyg Environ Health. Août 2020;229:113587.

52. Sharif N, Dey SK. Impact of population density and weather on COVID-19 pandemic and SARS-CoV-2 mutation frequency in Bangladesh. Epidemiol Infect. 7 Jan 2021;149:e16.

53. Rendana M. Impact of the wind conditions on COVID-19 pandemic: A new insight for direction of the spread of the virus. Urban Clim. Déc 2020;34:100680.

54. Jüni P, Rothenbühler M, Bobos P, Thorpe KE, Costa BR da, Fisman DN, et al. Effets du climat et des interventions de santé publique sur la pandémie de COVID-19 : une étude de cohorte prospective. CMAJ. 2 Nov 2020;192(44):E1374-82.

TABLE DES MATIERES

ACTION DE GRÂCE I
DEDICACES III
REMERCIEMENTS VI
HOMMAGES X
LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS XIII
LISTE DES TABLEAUX XVI
LISTE DES FIGURES XIX
SOMMAIRE XXIII
INTRODUCTION 1
1. PROBLEMATIQUE 3
1.1. Enoncé du problème 4
1.2. Question de recherche 5
1.3. Cadre conceptuel 5

1.4. Description du cadre conceptuel 7
1.5. Hypothèses 9
1.6. Objectifs de l'étude 9
2. GENERALITES 11
2.1. Définitions des concepts 12
2.2. Revue de littérature 14
2.2.1. Historique 14
2.2.2. Epidémiologie descriptive 17
2.2.2.1. Ampleur et gravité 17
2.2.2.2. Répartition géographique 17
2.2.1. Epidémiologie analytique 19
2.2.1.1. Pathogène 19
2.2.1.2. Origine 19
2.2.1.3. Génome 20
2.2.1.4. Structure 21
2.2.1.5. Cycle de réplication 22
2.2.1.6. Variants 23
2.2.1.7. Voies de transmission 24
2.2.1.8. Facteurs favorisants 24
2.2.1.9. Rappels physiopathologiques 26
2.2.1.10. Rappels cliniques 27
2.2.1.11. Rappels paracliniques 27
2.2.2. Prévention 29
2.2.3. Saisonnalité 31
2.2.4. Surveillance épidémiologique 32
3. CADRE ET METHODES D'ETUDE 34
3.1. Cadre d'étude 35
3.1.1. Présentation du Bénin 35

3.1.2. Présentation du réseau d'observation météorologique du Bénin 37
3.2. Méthodes d'étude.....39
3.2.1. Type d'étude 39
3.2.2. Période d'étude 39
3.2.3. Population d'étude 40
3.2.4. Méthode et technique d'échantillonnage 40
3.2.5. Variables d'étude 40
3.2.5.1. Variable dépendante.....40
3.2.5.2. Variables indépendantes 40
3.2.6. Aspects opérationnels des variables 41
3.2.6.1. Aspect opérationnel de la variable dépendante 41
3.2.6.2. Aspects opérationnels des variables indépendantes 41
3.2.7. Technique de collecte des données.....43
3.2.8. Traitement et analyse des données 43
3.2.9. Considérations d'ordre éthique.....46
4. RESULTATS 47
4.1. Analyse descriptive des variables.....48
4.1.1. Répartition des cas en fonction des zones météorologiques, de l'âge et du sexe 48
4.1.2. Description du taux d'incidence 51
4.1.2.1. Description du taux d'incidence au Bénin.....53
4.1.2.2. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Cotonou 55
4.1.2.3. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Bohicon 57
4.1.2.4. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Parakou 58
4.1.2.5. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Kandi 60

4.1.2.6. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Savè61
4.1.2.7. Description du taux d'incidence dans la zone météorologique de Natitingou.....62
4.1.2.8. Description du taux d'incidence en zone tropicale au Bénin en fonction des saisons climatiques 63
4.1.2.9. Description du taux d'incidence en zone équatoriale au Bénin.....64
4.1.3. Description des paramètres climatiques 65
4.1.3.1. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Cotonou 66
4.1.3.2. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Bohicon 67
4.1.3.3. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Parakou.....69
4.1.3.4. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Kandi 70
4.1.3.5. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Savè 72
4.1.3.6. Paramètres climatiques de la zone météorologique de Natitingou.....73
4.2. Analyse bivariée.....75
4.2.1. Représentation des nuages de points du taux d'incidence en fonction des paramètres climatiques.....75
4.2.2. Test de corrélation des rangs de Spearman.....77
4.2.2.1. Test de corrélation des rangs de Spearman à Cotonou 77
4.2.2.2. Test de corrélation des rangs de Spearman à Bohicon 77
4.2.2.3. Test de corrélation des rangs de Spearman à Kandi 78
4.2.2.4. Test de corrélation des rangs de Spearman à Parakou.....79
4.2.2.5. Test de corrélation des rangs de Spearman à Natitingou.....79
4.2.2.6. Test de corrélation des rangs de Spearman à Savè 80
4.2.3. Test de Mann-Withney 80
4.3. Analyse multivariée 81
4.3.1. Application de la régression linéaire multiple à la recherche de la saisonnalité au Bénin 81
4.3.2. Application de la régression linéaire multiple à la recherche de l'impact des paramètres climatiques sur l'évolution de la COVID-19. 82

4.3.2.1. Zone météorologique de Cotonou.....82
4.3.2.2. Zone météorologique de Bohicon.....83
4.3.2.3. Zone météorologique de Savè.....83
4.3.2.4. Zone météorologique de Kandi.....84
4.3.2.5. Zone météorologique de Natitingou 84
4.3.2.6. Zone météorologique de Parakou 85
5. DISCUSSION 86
5.1. Atteinte des objectifs.....87
5.2. Validité des résultats et biais 88
5.3. Limites de l'étude 88
5.4. Commentaires et comparaison des résultats avec la littérature 89
5.4.1. Evolution de la COVID-19 89
5.4.2. Corrélation entre le taux d'incidence et les paramètres facteurs climatiques 90
CONCLUSION.....93
SUGGESTIONS 95
REFERENCES 97
TABLE DES MATIERES.....104
SERMENT D'HIPPOCRATE.....109

SERMENT D'HIPPOCRATE

Devant le peuple Béninois,

En présence des maîtres de cette faculté, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate,

Je promets et je jure, au nom de l'Etre Suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine,

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans discrimination,

J'interviendrai pour les protéger si elles sont vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité,

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance,

Respectueux et reconnaissant envers mes maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères,

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail,

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs,

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement la vie, ni ne provoquerai délibérément la mort,

Je préserverai l'indépendance nécessaire et je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je perfectionnerai mes connaissances pour assurer au mieux ma mission,

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Je le jure

VU LE PRESIDENT DU JURY

VU LE DOYEN DE LA FSS

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

LE RECTEUR DE L'UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

RESUME

Introduction : La COVID-19 serait la calamité la plus meurtrière du 21e siècle. Plusieurs études ont recherché les facteurs pouvant déterminer son évolution. Certaines suggèrent qu'elle pourrait être saisonnière, tout comme celle du SARS et déterminée par les paramètres climatiques dans certaines régions du monde, surtout celles ayant un climat tempéré. Notre étude s'est intéressée au cas du Bénin, un pays à climats tropical et équatorial. Elle visait à déterminer dans un premier temps l'existence d'une saisonnalité de l'évolution de la COVID-19 depuis son avènement puis dans un deuxième temps rechercher l'association entre cette évolution et celles de la température, de l'humidité, de la pluviométrie et de la vitesse du vent.

Méthode : Il s'agissait d'une étude transversale rétrospective analytique. Un échantillonnage exhaustif des patients enregistrés par le gouvernement béninois entre le 01er mars 2020 et le 28 février 2022 avait été réalisé. Les données météorologiques des six stations météorologiques synoptiques classiques sur cette même période avaient été collectées auprès de l'agence nationale de la météorologie du Bénin. Les analyses avaient été effectuées à partir du logiciel de programmation Python 3.10.3.

Résultats : L'augmentation du taux d'incidence de la COVID-19 était répétée sur les deux années de notre période d'étude durant les saisons pluvieuses en zone tropicale et sèches en zone équatoriale. En région tropicale, il existait une association significative mais faible et négative entre le taux d'incidence et la température ainsi que la vitesse du vent. En région équatoriale, la vitesse du vent était associée positivement au taux d'incidence dans les départements au Sud du Bénin. Aucune association n'était retrouvée entre le taux d'incidence et la pluviométrie, de même qu'avec l'humidité. Les modèles estimés afin de rechercher l'effet des paramètres climatiques sur le taux d'incidence n'étaient pas significatifs sauf dans le département du Borgou.

Conclusion : Notre étude suggère une évolution saisonnière de la COVID-19 au Bénin. Les variations des paramètres climatiques (température et vitesse du vent) étaient faiblement associées à cette évolution. D'autres variables expliqueraient mieux l'évolution de la COVID-19.

Mots-clés : saisonnalité, COVID-19, température, humidité, pluviométrie, vitesse du vent, Bénin, tropicale, équatoriale

ABSTRACT

Introduction: COVID-19 is believed to be the most deadly calamity of the 21st century. Several studies have investigated the factors that may determine its evolution. Some suggest that it may be seasonal, like SARS, and determined by climatic parameters in certain regions of the world, especially those with a temperate climate. Our study focused on the case of Benin, a country with a tropical equatorial climates. The first aim was to determine whether there is any seasonality in the evolution of COVID-19 since its introduction, and then to investigate the association between this evolution and those of temperature, humidity, rainfall and wind speed.

Method: This was a retrospective analytical cross-sectional study. An exhaustive sampling of patients registered by the Beninese government between 01 March 2020 and 28 February 2022 was carried out. Meteorological data from six conventional synoptic weather stations over the same period were collected from the Benin National Meteorological Agency. The analyses were carried out using the Python 3.10.3 programming software.

Results: The increase in the incidence rate of COVID-19 was repeated over the two years of our study period during the rainy season in the tropical zone and the dry season in the equatorial zone. In the tropical region, there was a significant but weak and negative association between the incidence rate and temperature and wind speed. In the equatorial region, wind speed was positively associated with incidence rate in the southern departments of Benin. No association was found between incidence rate and rainfall, nor with humidity. The models estimated to investigate the effect of climatic parameters on the incidence rate were not significant except in Borgou department.

Conclusion: Our study suggests a seasonal evolution of COVID-19 in Benin. Variations in climatic parameters (temperature and wind speed) were weakly associated with this evolution. Other variables would better explain the evolution of COVID-19.

Keywords: seasonality, COVID-19, temperature, humidity, rainfall, wind speed, Benin; tropical, equatorial