

Modélisation mathématique de l'évolution de la pandémie covid-19 : synthèse de la littérature

Adel-Aissanou K., Lekadir O. et Aïssani D.

Research Unit **LaMOS** (Modeling and Optimization of Systems) and Faculty of Exact Sciences, Bejaia University, Bejaia 06000, Algeria
lamos_bejaia@hotmail.com ,

Résumé La modélisation des conséquences économiques des épidémies et des pandémies constitue un élément important de la préparation de plans d'urgence pour d'éventuelles nouvelles flambées. La modélisation et la simulation mathématiques permettent une évaluation rapide de la propagation et des réponses aux mesures de précautions. Au fil des ans, un grand nombre d'approches ont été proposées pour examiner le problème sous différents angles. L'objectif de cet article est de présenter une synthèse des travaux réalisés dans le domaine de la modélisation mathématique de l'évolution de la pandémie COVID-19. Dans un premier temps, nous rappelons pourquoi et comment les modèles mathématiques peuvent aider à la prise de décision en ces temps de crise sanitaire COVID-19. Dans un deuxième temps, nous nous attardons sur les spécificités régionales et locales à l'origine de notre travail. Un bref historique des conséquences des épidémies en Afrique du Nord permet de bien en appréhender et en quantifier les risques. Par la suite, nous présentons nos synthèses des travaux pour les épidémies de manière générale et pour le COVID-19 en particulier.

Mots clés : Pandémie, COVID-19, Modèle mathématique, Synthèse de la littérature.

1.1 Introduction : Pourquoi la modélisation mathématique d'une épidémie ?

Depuis le début de l'humanité, l'homme a utilisé les mathématiques pour essayer de résoudre certains problèmes auxquels il était confronté. En même temps, la contribution à la résolution des défis de la société et d'autres disciplines a été source d'inspiration pour de nombreux développements mathématiques à travers l'histoire. La crise sanitaire actuelle générée par COVID-19 ne fait pas exception et prouve une fois de plus la contribution de cette discipline au bien-être social. [5].

Chaque année, des millions de personnes dans le monde meurent de maladies infectieuses telles que la rougeole, le paludisme, la tuberculose, le VIH. Bien qu'il existe de nombreux facteurs de complication, des modèles mathématiques simples peuvent donner un aperçu de la dynamique des épidémies de maladies et aider les responsables à prendre des décisions concernant les politiques de santé publique. [25].

Une épidémie est une explosion soudaine d'une maladie au sein d'une population donnée et une pandémie est une épidémie qui se propage à travers les régions, qui peuvent être des pays, des continents ou le monde entier. Ces épidémies ou pandémies causent de graves problèmes de développement économique et social qui entraînent un déséquilibre dans la survie des humains

et de plusieurs autres espèces vivantes. [18].

Depuis décembre 2019, de nombreux cas inexplicables de pneumonie avec toux, dyspnée, fatigue et fièvre comme principaux symptômes sont survenus à Wuhan, en Chine en peu de temps [16, 31]. Les autorités sanitaires chinoises et les CDC ont rapidement identifié l'agent pathogène de ces cas comme un nouveau type de coronavirus, que l'OMS - Organisation Mondiale de la Santé - a nommé COVID-19 le 10 janvier 2020 (World Health Organization) [33]. A partir de là, de nombreuses équipes de recherche ont abordé différentes études tournant autour des questions suivantes : Comment les modèles mathématiques peuvent-ils aider à la prise de décision en ces temps de crise sanitaire ? Et comment parviennent-ils à intégrer les informations et incertitudes en cours ? [10]. Rappelons qu'un modèle est une abstraction (une simplification) de la réalité. Le rôle de la modélisation mathématique d'une épidémie n'est donc pas de reproduire la réalité mais d'essayer de mieux la comprendre, d'évaluer des hypothèses pour indiquer une tendance.

Crepey P. & Khalatbari A. constatent que les épidémies, tout comme de nombreuses lois naturelles, commencent toutes selon une dynamique qui obéit à une fonction mathématique qui "tend vers l'infini". C'est la fonction exponentielle. Concrètement, le nombre d'infectés augmente de plus en plus vite au cours du temps. Ce modèle grossier du départ de l'épidémie ne tient compte ni des données de la transmission, ni des mesures sanitaires. Par la suite, on doit essayer de voir comment se transmet la maladie. C'est ce qu'on appelle le déroulé (ou bien l'historique) de la maladie : période d'incubation, contagiosité, etc... Ces éléments permettent de concevoir un modèle de base. Celui qui a été élaboré par Crepey P & Khalatbari A est le modèle SIR, où toute la population peut être partagée en trois états : sains (S), infectés (I), rétablis (R). La dynamique de la maladie dépend des échanges entre ces trois boîtes, aussi appelés "compartiments" [10].

Précisons ici que ce modèle SIR à trois compartiments ne représente pas le COVID-19 car les spécificités de ce virus nécessitent des modèles plus complexes. Ainsi, il faut avoir des éléments sur la durée de l'incubation. Il en est de même pour la présence de personnes asymptomatiques après leur infection. L'équipe de Crepey P. a d'abord utilisé un modèle à 4 boîtes, appelé SEIR en y ajoutant une boîte supplémentaire, E qui désigne les personnes ayant été exposées mais qui ne présentent pas encore de symptômes. Cette équipe poursuit ses investigations en profondeur sur un modèle à 8 compartiments qui sera capable de tenir compte des personnes qui restent asymptomatiques après avoir été infectées, de celles qui commencent à être contagieuses quelques jours avant l'apparition des symptômes, des personnes hospitalisées et enfin des personnes contaminées qui demeurent confinées au sein de leur famille [10].

L'objectif de cet article est de présenter une synthèse des travaux réalisés dans le domaine de la modélisation mathématique de l'évolution de la pandémie COVID-19. Dans un premier

temps, nous rappelons pourquoi et comment les modèles mathématiques peuvent aider à la prise de décision en ces temps de crise sanitaire COVID-19. Dans un deuxième temps, nous nous attardons sur les spécificités régionales et locales à l'origine de notre travail. Un bref historique des conséquences des épidémies en Afrique du Nord permet de bien en appréhender et en quantifier les risques. Par la suite, nous présentons nos synthèses des travaux de modélisation mathématiques réalisés pour les épidémies de manière générale et pour le COVID-19 en particulier.

1.2 A l'origine de cette synthèse de la littérature sur la modélisation mathématique des épidémies

Depuis une vingtaine d'années, l'Unité de Recherche LaMOS (Modélisation et Optimisation des Systèmes - <http://www.lamos.org>) travaille occasionnellement avec les structures de santé de Béjaia (au début, l'Hôpital Khellil Amrane, puis, après leurs création, avec la Faculté de médecine et le CHU) pour aborder des problèmes d'évaluation de performance des systèmes de santé (voir par exemple [2], [11]). Ces travaux se font dans le cadre d'un groupe pluridisciplinaire. Au début de la crise du COVID-19 en Algérie, nous avons été en contact avec la cellule de crise de la Wilaya de Béjaia. Il s'agissait d'aborder la question de la modélisation mathématique de l'évolution de l'épidémie à l'échelle locale. A titre d'exemple, il s'agissait de pouvoir répondre à des questions de type : au bout de combien de jours les capacités d'accueil des services spécialisés (et notamment de celui de réanimation) seront-elles atteintes ? A ce niveau, une récolte des données est essentielle. Un questionnaire avait été élaboré pour chaque patient (début des symptômes, date du test, date de l'hospitalisation, date du résultat du test, date du début du traitement, date de la dégradation de l'état de santé, ...). La fiabilité des résultats dépend de la rigueur des personnels de santé chargés du suivi (et donc de la récolte des données). A cette époque, le laboratoire COVID-19 de l'Université de Béjaia n'avait pas encore été envisagé et la wilaya dépendaient des performances de l'Institut Pasteur d'Alger.

Certes, la courbe de l'augmentation exponentielle de la morbidité et de la mortalité algérienne est nettement réduite comparée à celles des pays occidentaux. D'un autre côté, les données observées de la COVID-19 à ce jour sont très en dessous des chiffres prévus par les modélisations mathématiques. Le Pr Hamdi Cherif M [14] estime que *"le challenge pour sortir de ce tunnel est la mise en œuvre d'un plan de déconfinement qui doit d'abord tenir compte des points faibles des confinements antérieurs et les spécificités locales et régionales, avec l'espoir que notre écosystème diminuera la virulence et la contagion du virus "* [14]. Et il ajoute *" qu'il est temps d'aller sur le terrain pour des études critiques des différentes situations épidémiologiques en vue de mettre en place des stratégies locales, spécifiques et adaptées pour chaque wilaya ou région "* [14]. En effet, l'éclosion des foyers épidémiques (clusters) de la COVID-19 constitue aujourd'hui le défi pour les autorités sanitaires alors que la première phase de déconfinement est enclenchée. Le bulletin épidémiologique de l'INPS (Institut National de Santé

Publique) du 04 juin 2020 portant sur les cas cumulés confirmés positifs par PCR note qu'à cette date, le taux d'incidence nationale était de 23.08 cas pour 100 000 habitants. Mais on doit tenir compte de certaines spécificités locales et régionales. Ainsi, pour la Wilaya de Béjaïa, c'est la région de Kherrata qui a été la plus touchée. Or elle est frontalière avec la Wilaya de Sétif dont l'incidence est de loin supérieure au taux national (34.64).

1.3 Historique des épidémies en Afrique du Nord

A l'instar de ce qui se passe partout sur la planète, l'Afrique du Nord et l'espace méditerranéen n'ont pas été épargnés par les catastrophes naturelles : séismes, inondations, épidémies. Certaines ont été ponctuelles, d'autres ont dévasté des régions entières, ont fait le tour de la Méditerranée, en détruisant une part importante de la population, vidant des pays peuplés, désorganisant des empires, modifiant les rapports de force. Suivant leur origine et leurs circonstances, leurs effets ont été parfois immédiats, parfois différés, courts ou longs, directs ou indirects [20]. Déjà dans la seconde moitié du III^e siècle, Arnobe, à propos des épidémies qui consomment le genre humain, affirme : "*consultez les livres d'annales rédigés en différentes langues ; vous apprendrez que des pays entiers ont été souvent dépeuplés, vidés de leurs habitants*" [3].

Les textes anciens mentionnent sous le nom de pestes toutes sortes de maladies à forme épidémique, au pronostic grave, sinon fatal. D'un point de vue médical, toutes n'étaient pas des pestes à proprement parler. Les descriptions sont souvent trop vagues pour qu'on puisse en saisir la nature exacte, et guère plus leur ampleur et leur impact. Laporte J P souligne que "suivant les cas, les épidémies avaient une influence directe et indirecte considérable dans tous les domaines économique, démographique, social, politique, militaire, religieux, artistique, sanitaire et médical". À court terme, elles interrompaient la circulation des hommes, et donc celle des denrées, entraînaient, elles aussi, la famine [20].

A cette époque, les éléments de diagnostic étaient limités, mais le tableau clinique était très important, avec une série de symptômes identifiés : vomissements, charbon, hémorragie, symptômes nerveux, crachements de sang de la forme pneumonique, La mortalité pouvait atteindre jusqu'à plus de 50% de la population suivant les épisodes locaux. La guerre et les échanges favorisaient l'extension de la peste, en affaiblissant la résistance des populations.

Biraben J. N., considéré comme étant le grand spécialiste de l'histoire de la peste, analyse le cas de la peste justinienne qui apparut en 541 dans le port égyptien de Péluse, venant semble-t-il d'Ethiopie [7]. De là, elle s'étendit sur l'Egypte, jusqu'à Alexandrie, la Palestine, la Syrie. Quelques mois plus tard, elle est apparue à Constantinople, où elle dura quatre mois. Elle fut ensuite diffusée rapidement dans certains ports méditerranéens par la voie maritime. L'intérieur des pays était moins touché, car la population était moins dense. Biraben J. N.

affirme que ce sont les soldats de Justinien envoyés de Constantinople à Carthage pour faire campagne contre les Maures qui y auraient apporté la peste. Il parle d'une diminution de 50% de la population de Constantinople (40 % de morts, 10 % de fuites) [7].

Si on se projette maintenant au présent, on constate que l'Algérie a connu ces dernières décennies une incroyable série de catastrophes : en plus des calamités dites "naturelles" (inondation de Bab-El-Oued en novembre 2001, plus de 800 morts ; séisme de Boumerdès du 21 mai 2003 : 2 300 morts, autant de disparus et 11 000 blessés) une succession d'épidémie de botulisme, tuberculose (2001), typhoïde (2002), rougeole, méningite (2002), peste (juin 2003), dans la banlieue d'Oran... Abid L rappelle que cette ville a justement servi de cadre à Albert Camus pour son roman mythique, "*la Peste*" où dans la conclusion, prémonitoire (de ce roman) Camus fait dire à son héros : "*Et (Rieux) savait ce qu'on peut lire dans les livres que le bacille de la peste ne meure ni ne disparaît jamais, qu'il peut rester, pendant des dizaines d'années, endormi dans les meubles et le linge, qu'il attend patiemment dans les chambres, les caves... Et que, peut-être, le jour viendrait où, pour le malheur et l'enseignement des hommes, la peste réveillerait ses rats et les enverrait mourir dans une cité heureuse*" [1].

1.4 Historique de l'évolution du covid-19

Actuellement, des personnes du monde entier ont été touchées par la maladie du coronavirus 2019 (COVID-19), qui est la cinquième pandémie après celle de la grippe de 1918. À partir de maintenant, nous pouvons retracer le premier rapport et la flambée subséquente d'un groupe de nouveaux cas de pneumonie humaine dans la ville de Wuhan, en Chine, en décembre 2019. La première date d'apparition des symptômes était le 1er décembre 2019 [22], [16], [36]. Le 11 mars 2020, l'augmentation rapide du nombre de cas en dehors de la Chine a conduit le docteur Tedros Adhanom Ghebreyesus, directeur général de l'OMS, à annoncer que la flambée pouvait être qualifiée de pandémie.

À la mi-mars 2020, la région européenne de l'OMS était devenue l'épicentre de l'épidémie, notifiant plus de 40 % des cas confirmés dans le monde. Au 28 avril 2020, la région concourait à 63 % de la mortalité mondiale due au virus.

Le premier cas de COVID-19 en Afrique est apparu en février 2020 en Egypte. 53 pays africains sur 54 sont désormais touchés par le coronavirus. Depuis, plusieurs études trop alarmistes ont exploré la piste d'une "catastrophe africaine", qui, près de trois mois après le début de la crise, n'a pas eu lieu. Alors que l'Europe et les Etats-Unis ont dépassé le million de cas, le nombre officiel de contaminations en Afrique s'élève, à la mi-mai, à 75 530 cas enregistrés, selon le Centre pour la prévention et le contrôle des maladies de l'Union africaine (CDC Afrique). le premier cas confirmé de COVID-19 aux USA est annoncé en janvier 2020. Les États-Unis et le Brésil sont les pays où la pandémie de COVID-19 progresse le plus rapidement.

1.5 Les modèles mathématiques modélisant les pandémies

Siettos C I & Russo L [32] ont présenté et discuté les principales approches utilisées pour la surveillance et la modélisation de la dynamique des maladies infectieuses. Ils ont présenté les concepts de base qui expliquent leur mise en œuvre et leur pratique et, pour chaque catégorie, ils ont donné une liste annotée d'œuvres représentatives. La FIGURE 1.1 donne un aperçu des modèles mathématiques pour les maladies infectieuses

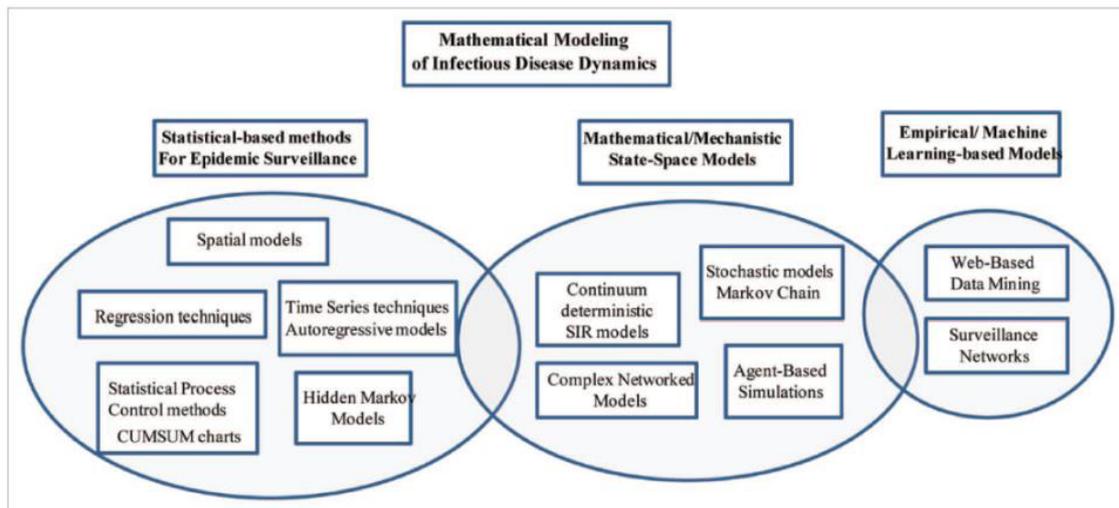


FIGURE 1.1: Un aperçu des modèles mathématiques pour les maladies infectieuses. Source : Siettos C.I.& Russo L. [32].

Au fil des ans, un grand nombre d'approches ont été proposées pour examiner le problème sous différents angles. Ceux-ci englobent trois catégories générales (voir FIGURE 1.1) :

- (1) les méthodes statistiques de surveillance des épidémies et d'identification des schémas spatiaux dans les épidémies réelles,
- (2) les modèles mathématiques dans le cadre de systèmes dynamiques (également appelés modèles de l'espace d'état) utilisés pour prévoir l'évolution d'une propagation épidémique "hypothétique" ou en cours, et
- (3) apprentissage automatique / méthodes expertes pour prévoir l'évolution d'une épidémie en cours. Pour ces trois catégories, il existe à nouveau des approches différentes tissant une littérature vaste et diversifiée.

1.6 Synthèse des travaux sur la modélisation mathématique des épidémies

En 1760, Bernoulli D a développé un modèle mathématique d'une épidémie de variole appelée à l'époque "la petite variole" pour analyser la mortalité causée par cette maladie [6]. Son modèle est connu comme étant le premier modèle mathématique de l'histoire de l'épidémiologie [4], [34].

Dans l'article [35], les auteurs donnent une bonne revue de littérature concernant la modélisation mathématique de la grippe saisonnière. Ils ont modélisé la propagation d'une épidémie de grippe dans la population d'Oran, en Algérie. En particulier, ils ont construit un modèle SEIR-SW (Susceptible-Exposed-Infected-Removed dans un réseau Small World) pour identifier les principales caractéristiques de la transmission épidémique et son évolution dans le temps.

Dans [17], les auteurs ont précisé dans quelle mesure les modèles mathématiques de transmission de maladies fournissent des prédictions fiables. Ils ont conclu qu'afin d'utiliser efficacement les modèles mathématiques pour étudier la dynamique de la propagation d'une pandémie, y compris les stratégies de contrôle possibles, il faut être sûr que les valeurs utilisées pour les différents paramètres du modèle correspondent à la réalité. Bien que certains paramètres puissent être déterminés sur la base de connaissances antérieures, d'autres paramètres doivent être estimés en ajustant le modèle aux données disponibles.

Un avantage important de l'utilisation de modèles est que la représentation mathématique des processus biologiques permet la transparence et la précision des hypothèses épidémiologiques, nous permettant ainsi de tester notre compréhension de l'épidémiologie de la maladie en comparant les résultats des modèles et les modèles observés [24].

D'autres chercheurs ont utilisé la modélisation mathématique dans la prédiction de la propagation des épidémies. Dans [19], les auteurs ont développé un modèle mathématique pour la dynamique de transmission de l'épidémie de grippe A / H1N1 de 2009 en République de Corée. Dans [8], les auteurs donnent en détail une modélisation mathématique des épidémies et comment interpréter les résultats. Les auteurs du papier [12] se sont préoccupés des conséquences économiques qui auraient pu se produire si la maladie d'Ebola s'était propagée à certains pays en développement de la région Asie-Pacifique. Leurs estimations ont été effectuées avec deux modèles liés : un modèle de transmission des maladies et un modèle multirégional d'équilibre général calculable dynamique (ECG) de l'économie mondiale. Dans ([26], l'auteur a donné une modélisation mathématique de la propagation de l'épidémie de SIDA. Les auteurs dans [23] ont présenté un modèle mathématique de transmission de la grippe porcine avec la vaccination de nouveaux nés. Dans [9], les auteurs ont passé en revue les progrès récents dans la modélisation et la caractérisation des schémas de croissance épidémique précoce à partir des données sur les flambées de maladies infectieuses, et ont étudié les types de formulations mathématiques qui sont les plus utiles pour saisir une diversité de profils de croissance épidémique précoce, allant de la dynamique de croissance sub-exponentielle à la dynamique de croissance exponentielle. Plus précisément, ils ont examiné des modèles mathématiques qui intègrent des détails spatiaux ou des structures de mélange de population réalistes, y compris des modèles de métapopulation, des modèles de réseaux individuels et des modèles simples de type SIR qui intègrent les effets des changements de comportement réactifs ou de mélange inhomogène. Dans [15], les auteurs

ont effectué une revue systématique des modèles mathématiques estimant l'impact épidémiologique des futurs vaccins antituberculeux humains. Avec une méthode rigoureuse, ils ont affirmé que les évaluations économiques ont révélé que les vaccins antituberculeux étaient extrêmement rentables, en particulier lorsqu'ils étaient destinés aux adolescents/adultes. Les auteurs de l'article [32] ont présenté et discuté les principales approches utilisées pour la surveillance et la modélisation de la dynamique des maladies infectieuses. Ils ont présenté les concepts de base qui sous-tendent leur mise en œuvre et leur pratique et pour chaque catégorie, ils ont donné une liste annotée d'œuvres représentatives. Dike, C.O., Zainuddin, Z.M., & Dike, I.J. [12] proposent la technique de mise en file d'attente comme une approche mathématique prometteuse et efficace pour l'étude de la transmission et du contrôle de l'épidémie d'Ebola. De fait, les déductions de l'application de cette théorie (de files d'attente) ont été utilisées pour analyser l'épidémie d'Ebola en Guinée en 2014.

1.7 Synthèse des travaux sur la modélisation mathématique du covid-19

Dans son étude, Nesteruk I. a utilisé le modèle SIR (Susceptible-Infectious-Removed) populaire pour obtenir des valeurs optimales pour les paramètres du modèle en utilisant une approche statistique et a donc prédit le nombre de personnes infectées du COVID-19, sensibles et retirées en fonction du temps [28]. Okhuese V A a montré que l'équilibre sans maladie (E_0) pour le coronavirus COVID-19 ne satisfait pas aux critères d'une stabilité asymptotique locale ou globale [29]. Cela est dû au fait qu'en tant que pandémie déclarée par l'OMS (2020), le coronavirus COVID-19 n'a pas encore de vaccin curatif et des mesures de précaution sont recommandées par le biais de procédures de quarantaine et d'observatoires. Dans [30], les auteurs ont obtenu des prévisions avec une méthode d'itération simple qui n'a besoin que des valeurs quotidiennes des cas confirmés en entrée. La méthode prend en compte les récupérations et les décès attendus, et elle détermine les taux de croissance quotidiens maximaux autorisés qui s'éloignent de l'augmentation exponentielle vers des nombres stables et en baisse. Les prévisions montrent que les taux de croissance quotidiens devraient être maintenus au moins en dessous de 5% si nous souhaitons voir des plateaux prochainement - malheureusement loin de la réalité dans la plupart des pays à ce jour. Les auteurs ont fourni un exécutable ainsi que le code source pour une application simple de la méthode sur les données d'autres pays. Li Y et al. [21] ont établi un modèle dynamique des maladies infectieuses et un modèle des séries chronologiques pour prédire la tendance et la prévision à court terme de la transmission du COVID-19, ce qui a favorisé l'intervention et la prévention du COVID-19 par les départements à tous les niveaux en Chine continentale et gagner plus de temps pour les essais cliniques. Pour comprendre comment maximiser l'efficacité de politiques de quarantaine tout en atténuant les dommages économiques, Goldsztejn U et al. [13] ont développé un modèle mathématique pour évaluer l'impact des mesures de quarantaine sur les décès, les hospitalisations et la production économique. Ils ont utilisé le modèle SEIR pour simuler la propagation de COVID-19. Ils ont intégré les effets des politiques de quarantaine et ont segmenté la population en fonction des risques sanitaires et de la vulnérabilité économique. Ils ont simulé un scénario de base qui laisse les

restrictions de quarantaine actuelles en place. Ensuite, ils ont simulé un assouplissement rapide des restrictions de quarantaine pour les non-seniors peu de temps après la maîtrise de l'épidémie. Enfin, ils ont assoupli progressivement les restrictions de quarantaine pour les jeunes, tout en maintenant des restrictions extrêmement strictes pour les seniors. Ils ont obtenu des résultats satisfaisants. Le comportement des processus de branchement repose sur un paramètre crucial appelé taux moyen de reproduction (ou taux moyen de contamination ou taux moyen d'infection) et sa comparaison à la valeur critique 1. Mourid T [27] a étudié ces modèles pour comprendre l'importance de la valeur critique 1 sur le comportement du modèle et ses applications en épidémiologie, en particulier dans la propagation du virus COVID-19.

1.8 Conclusion

La propagation du COVID-19 dans la population est affectée par la complexité de nombreux facteurs. Il est difficile d'établir un modèle mathématique de propagation dynamique avec des paramètres à estimer et d'obtenir des résultats de simulation assez précis. Pour mieux comprendre la tendance de transmission de COVID-19, nous avons passé en revue les travaux utilisant la modélisation mathématique pour étudier le comportement des pandémies en général, ensuite ceux qui ont traité le COVID-19 dans le but de mettre en place une méthodologie de travail pour une application sur les données en rapport avec la pandémie COVID-19 dans la wilaya de Béjaia, Algérie.

Références

1. Abid L., (2003). *"Résurgence de la peste en Algérie : la sonnette d'alarme"*, santémaghreb.com.
2. Adjabi S., Abderrahmani H., Dehas N. et Aïssani D., (2002). *"Movement's Simulation of the patient in the Khellil Amrane's Hospital"*. In Proceedings of the International Congress **ICORD 2001**, B-e-D, South Africa, pp. 1 and others.
3. Arnobius, (1953). *"Arnobii Adversus nationes : libri VII"*. Ed Concetto Marchesi, Milan.
4. Bacaër N., (2009). *"Histoires de mathématiques et de populations"*. Ed. Cassini, Paris.
5. Bcamath, (2020). *"Mathematical-research-takes-up-the-challenge-of-predicting-the-evolution-of-the-covid-19-epidemic-and-its-socio-economic-impact"*. In <https://wp.bcamath.org/news>.
6. Bernoulli D., (1760). *"Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite variole et les avantages de l'inoculation pour la prévenir"*. Histoire de l'académie royale des sciences, Paris.
7. Biraben J. N., (1976). *"Les Hommes et la peste en France et dans les pays européens et méditerranéens (Civilisations et sociétés)"*, Ed. École des hautes études en sciences sociales, France.
8. Choisy M., Guégan J. F. et Rohani P., (2007). "Mathematical Modeling of Infectious Diseases Dynamics", *In Encyclopedia of Infectious Diseases : Modern Methodologies*, Ed John Wiley & Sons, Inc. (sous la direction de Tibayrenc M).
9. Chowell G., Sattenspiel L., Bansal S. et Viboud C., (2016). "Mathematical models to characterize early epidemic growth : A Review", *In Physics of Life Reviews ;* Vol. 18 : 66-97.
10. Crepey P. et Khalatbari A., (2020). *"Coronavirus : les maths pour mieux comprendre l'épidémie"*, in Sciences et Avenir.
11. Dehas N., Adjabi S., et Aïssani D. et Abderahmani H., (2006). *"Evaluation des Performances d'un système de santé : cas de l'hôpital Khellil Amrane (Béjaia)"*. In Actes du Congrès International **GISEH'06 (Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers)**, Luxembourg.
12. Dike C.O., Zainuddin Z.M., et Dike I.J. (2018). Mathematical Models for Mitigating Ebola Virus Disease Transmission : A Review. *Advanced Science Letters*, 24, 3536-3543.
13. Goldsztejn U., Schwartzman D. et Nehorai A., (2020). "Public policy and economic dynamics of COVID-19 spread : a mathematical modeling study", In MedRxiv.
14. Hamdi Cherif M., (2020). *Interview*, Journal Liberté, 08 juin 2020, p. 5.

15. Harris R. C., Sumner T., Knight G. M. et White R. G., (2016). "Systematic review of mathematical models exploring the epidemiological impact of future TB vaccines", *In Human Vaccines et Immunotherapeutics*, Vol. 12(11), 2813-2832.
16. Huang C., Wang Y., Li X., Rem L., Zhao J., Hu Y., et al., (2020). "Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China". *The Lancet*.
17. Huppert A. et Katriel G., (2013). "Mathematical modelling and prediction in infectious disease epidemiology", *Clinical Microbiology and Infection*, European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases, CMI, 19, 999-1005.
18. Jonnalagadda J. M. et Gaddam K., (2016). "Epidemic Analysis and Mathematical Modelling of H1N1(A) with Vaccination". Preprints 2016. 2016080230.
19. Kim S., Lee J. et Jung E., (2017). "Mathematical model of transmission dynamics and optimal control strategies for 2009 A/H1N1 influenza in the Republic of Korea", *In Journal of Theoretical Biology*, 412, 74-85.
20. Laporte J. P., (2016). "Peuplement et catastrophes naturelles dans l'Afrique du Nord ancienne". In Actes du Colloque International "Le Peuplement du Maghreb antique et médiéval", Sousse, Tunisie, pp. 117 - 149.
21. Li Y., Wang B., Peng R., Zhou C., Zhan Y., Liu Z., et al., (2020). "Mathematical Modeling and Epidemic Prediction of COVID-19 and Its Significance to Epidemic Prevention and Control Measures". *In Annals of Infectious Disease and Epidemiology*. Vol. 5(1) : 1052.
22. Liu Y-C. et al., (2020). "COVID-19 : The first documented coronavirus pandemic in history", *Biomedical Journal*.
23. Ljeoma O. J., Chioma I. S., Sunday U. E. et Andrew O., (2015). "Mathematical model of the transmission dynamics of swine flu with vaccination of non newborns", *In International Journal of Mathematics Sciences et Engineering Applications. (IJMSEA)*, Vol. 9 (1), 17 pages.
24. May R. M., (2004). "Uses and abuses of mathematics in biology". *In Science* ; 303 : 790-793.
25. Medlock J., (2002). "Mathematical Modeling of Epidemics". University of Washington. Applied Mathematics Department.
26. Merahi M., (2009). "Processus stochastique de population, applications à la théorie stochastique des épidémies : cas du SIDA", thèse de doctorat en sciences, Université de Mentouri de Constantine, Algérie.
27. Mourid T., (2020). "Modèles probabilistes en épidémiologie et le Covid-19", *Quotidien d'Oran* juin 2020, p. 5.
28. Nesteruk I., (2020). "Statistics based predictions of coronavirus 2019-nCoV spreading in mainland China". In MedRxiv.
29. Okhuuse V. A., (2020). "Mathematical predictions for COVID-19 as a global pandemic", In MedRxiv.
30. Perc M., Gorišek Miksić N., Slavinec M. et Stožer A., (2020). "Forecasting COVID-19". In *Frontiers in Physics*. Vol. 8(127).
31. Shen M., Peng Z. et Xiao Y., (2020). "Modeling the epidemic trend of the 2019 novel coronavirus outbreak in China". In BioRxiv.
32. Siettos C.I. et Russo L., (2013). "Mathematical modeling of infectious disease dynamics". *In Virulence*. Vol. 4(4), 295-306.
33. World Health Organization (WHO), (2020). Coronavirus. :10
34. Younsi F.Z., (2016). "Mise en place d'un Système d'Information Décisionnel pour le suivi et la prévention des épidémies", thèse de doctorat en sciences, université d'Oran, Algérie.
35. Younsi F.Z., Bounnekar A., Hamdadou D. et Boussaid O., (2015). "SEIR-SW, Simulation Model of Influenza Spread Based on the Small World Network". *In Tsinghua Science & Technology*, 460-473.
36. Zhu N., Zhang D., Wang W., Li X., Yang B., Song J., et al, (2019). "A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019". *In the New England Journal of Medicine*, 382(8) :727-733.

Contexte du travail

- *Correspondances*
- *Journal Liberté du 27 juin 2020*
- *El Watan du 9 juillet 2020*
- *Le quotidien d'Oran des 13 et 14 juillet 2020*

I - Message du Directeur du LaMOS

Sam 27/06/2020 10 :10

À : bouda_a@yahoo.fr; Kassa Idjdarene; KATI Djamel Edine; hamid_602001@yahoo.fr; TLIBA Souhil

Synthèse_Modèles_Mathématiques_Covid_19_Adel_Aissani_Lekadir_Juin_2020.pdf
953 Ko

Chers Collègues,

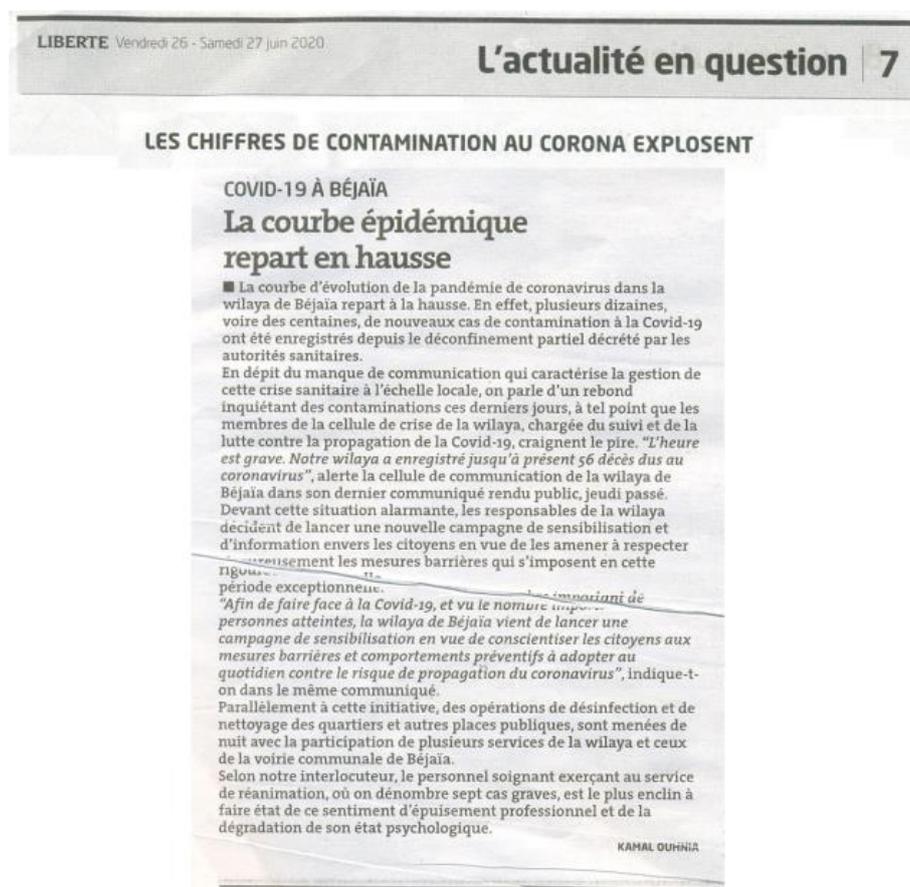
COVID_19. Veuillez trouver ci-joint une synthèse des études commandées ces dernières semaines à des mathématiciens par les pouvoirs publics (de plusieurs pays) chargés de la préparation des plans d'urgence.

Bien à vous

Pr Djamil Aïssani

Directeur de l'Unité de Recherche LaMOS

<http://www.lamos.org>



II - Réponses :

1° Vice Recteur

Bonjour Monsieur Aissani, Merci beaucoup. Bien reçu.

Bien à vous. **Dr KATI Djamel Edine**

Vice-recteur chargé des relations extérieures, de la coopération, de l'animation, de la communication et des manifestations scientifiques.

2° Recteur

Le samedi 27 juin 2020 à 14 :44 :25 UTC+2, ahmed BOUDA <bouda_a@yahoo.fr> a écrit :

À : Vous

Cc :

- Kassa Idjdarene ;
- KATI Djamel Edine ;
- hamid_602001@yahoo.fr ;
- TLIBA Souhil

Merci beaucoup Professeur Aissani pour ce travail. Les collègues de la Faculté de Médecine n'hésiteront pas sans doute à exploiter ces résultats et à vous demander d'éventuelles clarifications.

Bien cordialement

3° Doyen Faculté des Sciences Exactes

Nos félicitations cher collègue Professeur Aissani. Vous avez tous les encouragements de notre part à continuer dans ce projet, qui honore la science en générale et l'université de Bejaia en particulier. Cordiales salutations

4° Doyen Faculté de Médecine

Cher Djamil, Bonjour,

c'est une excellente approche. bravo à toi et à ton équipe.

étant médecin, je suis convaincu que les mathématiques et informatiques apporteront beaucoup de solutions au domaine de la santé.

je suis prêt à mobiliser une équipe pour travailler avec la tienne. comme tu le sais, nous avons une cohorte de malades hospitalisés pour la covid 19. nous pouvons aussi exploiter les données du call center initié par la faculté de médecine. ci-joint, un tableau excel (les noms ont été

supprimés pour la confidentialité).

encore félicitations.

Souhil.

..... **Pr. Souhil TLIBA. MD, PhD ;**
Chef de Service de Neurochirurgie, Chu de Bejaia.
Doyen de la Faculté de Médecine de l'Université de Bejaia
Directeur de Laboratoire de Recherche " Génie Biologique des Cancers "
Tel/Fax : 00213 34 12 32 97/00213 34 22 19 23 Cellulaire : 00213 661 60 97 57
Email : tliba.souh@gmail.com

HB

El Watan

LE QUOTIDIEN INDÉPENDANT - Jeudi 9 juillet 2020

N°9069 - Vingt-huitième année - Prix : Algérie : 30 DA. France : 1 €. USA : 2,15 \$. ISSN : 1111-0333 - http://www.elwatan.com

El Watan - Jeudi 9 juillet 2020 - 2

L'ACTUALITÉ

SITUATION SANITAIRE À BÉJAÏA

Bus et plages bondés et vente de moutons anarchique malgré la gravité de la situation

● Le virus continue à se propager dans un environnement des plus favorables et dans le giron d'une insouciance populaire.

Lundi dernier, Béjaïa a déploré sa 64^e victime emportée par la Covid-19. Au cours des dernières 24 heures, elle a compté 33 nouveaux cas positifs et 20 autres qui attendent les résultats des analyses. Le virus continue à se propager dans un environnement des plus favorables et dans le giron d'une insouciance populaire. Pendant que, dans la ville, les bus circulent bondés d'usagers, sur les plages, les baigneurs sont nombreux à y trouver leur bonheur, avons-nous constaté. Certains viennent des wilayas limitrophes, dont Sétif. Le flux n'est pas celui des masses des précédentes saisons estivales, mais force est de constater que malgré la crise sanitaire, on loue cabanons et appartements aux estivants. Dernièrement, une enquête épidémiologique menée sur des cas testés positifs a révélé, avons-nous appris à la DSP, que des contaminés sont les membres d'une même famille sétifienne qui a campé au village touristique de Capritour. Les foyers de contamination sont multiples et actifs. A l'approche de l'Aïd du sacrifice, plusieurs points de vente de moutons sont apparus anarchiquement dans la ville de Béjaïa, entraînant des rües d'enfants et d'adultes tout autour des enclos. Ce sont autant de facteurs qui promettent de faire perdurer la crise.

Depuis le début de l'épidémie, on a dépassé le chiffre de 1400 contaminés dans la wilaya. Durant les deux dernières semaines, il ne se passe pas un jour sans qu'il y ait 35 cas positifs en moyenne, en piquant parfois jusqu'à la limite des 45 cas. Idris Khodja Hadj, le DSP de la wilaya, est formel : le relâchement dans les gestes barrières est «suicidaire». «La responsabilité est individuelle et collective», nous dit-il. Un «sérieux problème de confiance a creusé un fossé entre citoyens et autorités et empêche de faire entendre raison sur la gravité de la situation, voire sur l'existence de l'épidémie. L'hôpital d'Amizour a vécu une

scène de tension, lorsque de nombreux citoyens sont venus récupérer la dépouille d'un des leurs dont ils ont refusé de croire qu'il est décédé pour cause de Covid-19. Il a fallu beaucoup d'efforts pour calmer ces esprits. Dans le même état d'esprit, les autorités ont «dû intervenir pour confiner de force des personnes chez elles», à en croire le DSP. Le déni de la réalité bloque aussi les enquêtes épidémiologiques, qui sont lancées pour chaque cas. «Les gens refusent de coopérer en donnant, par exemple, de fausses adresses», affirme le DSP.

«On a réussi à faire fléchir l'épidémie. Dans la deuxième quinzaine du mois de mai, les chiffres ont baissé. A l'hôpital de Kherrata, il n'y avait que deux malades, avec la remontée, il y a aujourd'hui 75 malades. En trois semaines, le nombre des contaminés a doublé», déplore-t-il. Les chiffres montent au moment où les malades ne consultent pas tous à temps. Selon notre interlocuteur, «au début de l'épidémie, on avait moins de cas de forme sévère. De plus en plus de personnes consultent tardivement. Elles ne vont consulter qu'au stade terminal».

Les statistiques officielles montrent que 70% des malades décédés ont plus de 65 ans. «La majorité des contaminés sont des gens actifs qui contaminent les personnes âgées», constate Idris Khodja Hadj. L'équation est implacable : nos jeunes condamnent nos vieux.

En juin dernier, le P Nouassria, chef de service des maladies infectieuses au CHU de Béjaïa, avait annoncé que 56% des cas atteints par le Sars-CoV-2 sont âgés entre 26 et 55 ans. La situation est telle, que la pression continue à s'exercer sur les hôpitaux, notamment à Kherrata et Béjaïa, ce qui compromet la reprise de certaines activités médicales suspendues ou reléguées au second plan. «On allait reprendre certaines activités, mais avec cette reprise, nous les avons mises en veilleuse», nous apprend Idris Khodja Hadj. «On

ira vers l'hospitalisation des cas les plus graves seulement», informe-t-il encore.

NOCES INTERDITES

Hier, le wali a interdit aux maires d'établir les actes de mariage. La fermeture des salles de fêtes n'a pas empêché que des couples convolent en justes noces avec DJ et foule. Il y a une semaine, trois cortèges de mariage ont sillonné les rues de la ville dans la même journée. Au même moment, «le personnel médical est à la limite du surmenage», fait remarquer Idris Khodja Hadj. Au surmenage s'ajoute le danger de la contamination. 70 d'entre eux ont eu le virus, dont 7 étaient, à la fin de la semaine dernière, pris en charge à l'école coranique de Kherrata, réquisitionnée comme structure sanitaire annexe de l'hôpital de la ville. «Il y a des médecins et des infirmiers qui ont repris leur service après s'être rétablis d'une contamination. Ils n'ont jamais faibli ou failli», témoigne le DSP. La situation a obligé certains à demeurer, par mesure de prévention, éloignés de leurs familles. Ils sont 770 à loger dans 11 hôtels, la majorité à Béjaïa-ville. 13 autres hôtels restent prêts à héberger le personnel médical et paramédical dans la wilaya. Leur utilisation est tributaire de l'évolution de l'épidémie qui a, cependant, dicté de recourir à des infrastructures extra hospitalières, comme l'Auberge des jeunes de Kherrata où sont hospitalisés des malades du nouveau coronavirus. Au Château de la comtesse d'Aokas se trouvent 23 autres malades. En revanche, les hôpitaux non encore achevés de Tazmalt et de Oued Ghir

ne pourront pas servir. Pour le premier, après résiliation de contrat, une nouvelle entreprise sera installée pour l'achèvement des travaux au bout de cinq mois, et il est attendu d'un autre entrepreneur de finir les VRD. Tandis que pour Oued Ghir, les chambres ne sont pas adaptées pour une prise en charge en réanimation, contrairement à l'EPH de Souk El Terine, où l'on est en phase de réception des équipements. «S'il y a une extrême nécessité, on l'occupera, il nous arrange, parce qu'il y a l'oxygène», assure le DSP. Avec l'apport des donateurs et la contribution du privé, la wilaya dispose de 30 lits de réanimation. «En termes d'espace et de lits, c'est gérable. Les appareils sont là», assure encore le DSP. Lundi dernier, neuf lits de réanimation étaient occupés à l'hôpital Khellil Amrane, selon le surveillant médical Hafid Boudrahem. On devait dégager un nouvel espace au niveau de l'ancien service de pédiatrie. Selon le DSP, les deux dernières semaines, il y a eu constamment 10 malades en réanimation. Si le problème matériel demeure gérable, celui des moyens humains risque de l'être moins. L'urgence dictera de pomper dans le personnel infirmier des polycliniques pour satisfaire les besoins du CHU. Ce qui ne manquera pas de provoquer une pression sur le personnel restant dans ces structures sanitaires de proximité. La demande a été en tout cas faite par le DSP, qui a aussi reçu la liste des médecins de la CNAS et de la DOU engageables en cas de besoin. «Il faut que les gens nous aident à tuer ce virus», implore Idris Khodja Hadj, le DSP de Béjaïa.

K. Medjdoub

DÉBAT

Modèles mathématiques et évolution de la pandémie Covid-19 : synthèse de la littérature

Par Karima Adel-Aïssanou*,
Ouiza Lekadir* et Djamil Aïssani*

1re partie

La modélisation des conséquences économiques des épidémies et des pandémies constitue un élément important de la préparation de plans d'urgence pour d'éventuelles nouvelles flambées. La modélisation et la simulation mathématiques permettent une évaluation rapide de la propagation et des réponses aux mesures de précautions. Au fil des ans, un grand nombre d'approches ont été proposées pour examiner le problème sous différents angles. L'objectif de cet article est de présenter une synthèse des travaux réalisés dans le domaine de la modélisation mathématique de l'évolution de la pandémie Covid-19. Dans un premier temps, nous rappelons pourquoi et comment les modèles mathématiques peuvent aider à la prise de décision en ces temps de crise sanitaire Covid-19. Dans un deuxième temps, nous nous attardons sur les spécificités régionales et locales à l'origine de notre travail. Un bref historique des conséquences des épidémies en Afrique du Nord permet de bien en appréhender et en quantifier les risques. Par la suite, nous présentons nos synthèses des travaux pour les épidémies de manière générale et pour le Covid-19 en particulier.

Mots clés : pandémie, Covid-19, modèle mathématique, synthèse de la littérature.

INTRODUCTION : POURQUOI LA MODÉLISATION MATHÉMATIQUE D'UNE ÉPIDÉMIE ?

Depuis le début de l'humanité, l'homme a utilisé les mathématiques pour essayer de résoudre certains problèmes auxquels il était confronté. En même temps, la contribution à la résolution des défis de la société et d'autres disciplines a été source d'inspiration pour de nombreux développements mathématiques à travers l'histoire. La crise sanitaire actuelle générée par le Covid-19 ne fait pas exception et prouve une fois de plus la contribution de cette discipline au bien-être social. [5].

Chaque année, des millions de personnes dans le monde meurent de maladies infectieuses telles que la rougeole, le paludisme, la tuberculose, le VIH. Bien qu'il existe de nombreux facteurs de complication, des modèles mathématiques simples peuvent donner un aperçu de la dynamique des épidémies de maladies et aider les responsables à prendre des décisions concernant les politiques de santé publique. [25].

Une épidémie est une explosion soudaine d'une maladie au sein d'une population donnée et une pandémie est une épidémie qui se propage à travers les régions, qui peuvent être des pays, des continents ou le monde entier. Ces épidémies ou pandémies causent de graves problèmes de développement économique et social qui entraînent un déséquilibre dans la survie des humains et de plusieurs autres espèces vivantes. [18].

Depuis décembre 2019, de nombreux cas inexplicables de pneumonie avec toux, dyspnée, fatigue et fièvre comme principaux symptômes sont survenus à Wuhan, en Chine, en peu de temps [16, 31]. Les autorités sanitaires chinoises et les CDC ont rapidement identifié l'agent pathogène de ces cas comme un nouveau type de coronavirus, que l'OMS (Organisation mondiale de la santé) a nommé Covid-19 le 10 janvier 2020 (World Health Or-

ganization) [33]. A partir de là, de nombreuses équipes de recherche ont abordé différentes études tournant autour des questions suivantes : comment les modèles mathématiques peuvent-ils aider à la prise de décision en ces temps de crise sanitaire ? Et comment parviennent-ils à intégrer les informations et incertitudes en cours ? [10]. Rappelons qu'un modèle est une abstraction (une simplification) de la réalité. Le rôle de la modélisation mathématique d'une épidémie n'est donc pas de reproduire la réalité mais d'essayer de mieux la comprendre, d'évaluer des hypothèses pour indiquer une tendance. Crepey P & Khalatbari A. constatent que les épidémies, tout comme de nombreuses lois naturelles, commencent toutes selon une dynamique qui obéit à une fonction mathématique qui «tend vers l'infini». C'est la fonction exponentielle. Concrètement, le nombre d'infectés augmente de plus en plus vite au cours du temps. Ce modèle grossier du départ de l'épidémie ne tient compte ni des données de la transmission, ni des mesures sanitaires. Par la suite, on doit essayer de voir comment se transmet la maladie. C'est ce qu'on appelle le déroulé (ou bien l'historique) de la maladie : période d'incubation, contagiosité, etc. Ces éléments permettent de concevoir un modèle de base. Celui qui a été élaboré par Crepey P & Khalatbari A. est le modèle SIR, où toute la population peut être partagée en trois états : sains (S), infectés (I), rétablis (R). La dynamique de la maladie dépend des échanges entre ces trois boîtes, aussi appelées «compartiments» [10]. Précisons ici que ce modèle SIR à trois compartiments ne représente pas le Covid-19 car les spécificités de ce virus nécessitent des modèles plus complexes. Ainsi, il faut avoir des éléments sur la durée de l'incubation. Il en est de même pour la présence de personnes asymptomatiques après leur infection. L'équipe de Crepey P a d'abord utilisé un modèle à 4 boîtes, appelé SEIR en y ajoutant une boîte supplémentaire E qui désigne les personnes ayant été exposées mais qui ne présentent pas encore de symptômes. Cette équipe poursuit ses investigations en profondeur sur un modèle à 8 compartiments qui sera capable de tenir compte des personnes qui restent asymptomatiques après avoir été infectées, de celles qui commencent à être contagieuses quelques jours avant l'apparition des symptômes, des personnes hospitalisées et enfin des personnes contaminées qui demeurent confinées au sein de leurs familles [10].

L'objectif de cet article est de présenter une synthèse des travaux réalisés dans le domaine de la modélisation mathématique de l'évolution de la pandémie Covid-19. Dans un premier temps, nous rappelons pourquoi et comment les modèles mathématiques peuvent aider à la prise de décision en ces temps de crise sanitaire Covid-19. Dans un deuxième temps, nous nous attardons sur les spécificités régionales et locales à l'origine de notre travail. Un bref historique des conséquences des épidémies en Afrique du Nord permet de bien en appréhender et en quantifier les risques. Par la suite, nous présentons nos synthèses des travaux de modélisation mathématiques réalisés pour les épidémies de manière générale et pour le Covid-19 en particulier.

Suite en page 19

* Unité de Recherche LaMOS (Modélisation et optimisation des systèmes), Université de Béjaïa

Modèles mathématiques et évolution de la pandémie Covid-19 : synthèse de la littérature

Suite de la page 18

2- A L'ORIGINE DE CETTE SYNTHÈSE SUR LA MODÉLISATION MATHÉMATIQUE DES ÉPIDÉMIES

Depuis une vingtaine d'années, l'Unité de recherche LaMOS (Modélisation et optimisation des systèmes – <http://www.lamos.org>) travaille occasionnellement avec les structures de santé de Béjaïa (au début, l'hôpital Khellil Amrane, puis, après leur création, avec la faculté de médecine et le CHU) pour aborder des problèmes d'évaluation de performance des systèmes de santé (voir par exemple [2, 11]). Ces travaux se font dans le cadre d'un groupe pluridisciplinaire. Au début de la crise du Covid-19 en Algérie, nous avons été en contact avec la cellule de crise de la wilaya de Béjaïa. Il s'agissait d'aborder la question de la modélisation mathématique de l'évolution de l'épidémie à l'échelle locale. A titre d'exemple, il s'agissait de pouvoir répondre à des questions de type : au bout de combien de jours les capacités d'accueil des services spécialisés (et notamment de celui de réanimation) seront-elles atteintes ? A ce niveau, une récolte des données est essentielle. Un questionnaire avait été élaboré pour chaque patient (début des symptômes, date du test, date de l'hospitalisation, date du résultat du test, date du début du traitement, date de la dégradation de l'état de santé...). La fiabilité des résultats dépend de la rigueur des personnels de santé chargés du suivi (et donc de la récolte des données). A cette époque, le laboratoire Covid-19 de l'Université de Béjaïa n'avait pas encore été envisagé et la wilaya dépendait des performances de l'Institut Pasteur d'Alger.

Certes, la courbe de l'augmentation exponentielle de la morbidité et de la mortalité algérienne est nettement réduite comparée à celles des pays occidentaux. D'un autre côté, les données observées de la Covid-19 à ce jour sont très en dessous des chiffres prévus par les modélisations mathématiques. Le Pr Hamdi Cherif M. [14] estime que « le challenge pour sortir de ce tunnel est la mise en œuvre d'un plan de déconfinement qui doit d'abord tenir compte des points faibles des confinements antérieurs et les spécificités locales et régionales, avec l'espoir que notre écosystème diminuera la virulence et la contagion du virus » [14]. Et il ajoute « qu'il est temps d'aller sur le terrain pour des études critiques des différentes situations épidémiologiques en vue de mettre en place des stratégies locales, spécifiques et adaptées pour chaque wilaya ou région » [14]. En effet, l'éclatement des foyers épidémiques (clusters) de la Covid-19 constitue aujourd'hui le défi pour les autorités sanitaires alors que la première phase de déconfinement est enclenchée. Le bulletin épidémiologique de l'INPS (Institut national de santé publique) du 04 juin 2020 portant sur les cas cumulés confirmés positifs par PCR note qu'à cette date, le taux d'incidence nationale était de 23.08 cas pour 100.000 habitants. Mais on doit tenir compte de certaines spécificités locales et régionales. Ainsi, pour la wilaya de Béjaïa, c'est la région de Kherrata qui a été la plus touchée. Or elle est frontalière avec la wilaya de Sétif dont l'incidence est de loin supérieure au taux national (34.64).

3- HISTORIQUE DES ÉPIDÉMIES EN AFRIQUE DU NORD

A l'instar de ce qui se passe partout sur la planète, l'Afrique du Nord et l'espace méditerranéen n'ont pas été épargnés par les catastrophes naturelles : séismes, inondations, épidémies. Certaines ont été ponctuelles, d'autres ont dévasté des régions entières, ont fait le tour de la Méditerranée, en détruisant une part importante de la population, vidant des pays peuplés, désorganisant des empires, modifiant les rapports de force. Suivant leur origine et

leurs circonstances, leurs effets ont été parfois immédiats, parfois différés, courts ou longs, directs ou indirects [20]. Déjà dans la seconde moitié du IIe siècle, Arnobe, à propos des épidémies qui consomment le genre humain, affirme : «Consultez les livres d'annales rédigés en différentes langues, vous apprendrez que des pays entiers ont été souvent dépeuplés, vidés de leurs habitants» [3].

Les textes anciens mentionnent sous le nom de pestes toutes sortes de maladies à forme épidémique, au pronostic grave, sinon fatal. D'un point de vue médical, toutes n'étaient pas des pestes à proprement parler. Les descriptions sont souvent trop vagues pour qu'on puisse en saisir la nature exacte, et guère plus leur ampleur et leur impact. Laporte J P souligne que « suivant les cas, les épidémies avaient une influence directe et indirecte considérable dans tous les domaines économique, démographique, social, politique, militaire, religieux, artistique, sanitaire et médical ». A court terme, elles interrompaient la circulation des hommes, et donc celle des denrées, entraînaient, elles aussi, la famine [20].

A cette époque, les éléments de diagnostic étaient limités, mais le tableau clinique était très important, avec une série de symptômes identifiés : vomissements, charbon, hémorragie, symptômes nerveux, crachements de sang de la forme pneumonique... La mortalité pouvait atteindre jusqu'à plus de 50% de la population suivant les épisodes locaux. La guerre et les échanges favorisaient l'extension de la peste, en affaiblissant la résistance des populations.

Biraben J. N., considéré comme étant le grand spécialiste de l'histoire de la peste, analyse le cas de la peste justinienne qui apparut en 541 dans le port égyptien de Péluse, venant semble-t-il d'Éthiopie [7]. De là, elle s'étendit sur l'Égypte jusqu'à Alexandrie, la Palestine, la Syrie. Quelques mois plus tard, elle est apparue à Constantinople, où elle dura quatre mois. Elle fut ensuite diffusée rapidement dans certains ports méditerranéens par la voie maritime. L'intérieur des pays était moins touché, car la population était moins dense. Biraben J. N. affirme que ce sont les soldats de Justinien envoyés de Constantinople à Carthage pour faire campagne contre les Maures qui y auraient apporté la peste. Il parle d'une diminution de 50% de la population de Constantinople (40% de morts, 10% de fuites) [7].

Si on se projette maintenant au présent, on constate que l'Algérie a connu ces dernières décennies une incroyable série de catastrophes : en plus des calamités dites «naturelles» (inondation de Bab-El-Oued en novembre 2001, plus de 800 morts; séisme de Boumerdes du 21 mai 2003 : 2.300 morts, autant de disparus et 11.000 blessés) une succession d'épidémies de botulisme, tuberculose (2001), typhoïde (2002), rougeole, méningite (2002), peste (juin 2003), dans la banlieue d'Oran... Abid L. rappelle que cette ville a justement servi de cadre à Albert Camus pour son roman mythique, «la Peste» où dans la conclusion, prémonitoire (de ce roman) Camus fait

dire à son héros : «Et (Rieux) savait ce qu'on peut lire dans les livres que le bacille de la peste ne meurt ni ne disparaît jamais, qu'il peut rester, pendant des dizaines d'années, endormi dans les meubles et le linge, qu'il attend patiemment dans les chambres, les caves... Et que, peut-être, le jour viendrait où, pour le malheur et l'enseignement des hommes, la peste réveillerait ses rats et les enverrait mourir dans une cité heureuse» [1].

4- HISTORIQUE DE L'ÉVOLUTION DU COVID-19

Actuellement, des personnes du monde entier ont été touchées par la maladie du coronavirus 2019 (Covid-19), qui est la cinquième pandémie après celle de la grippe de 1918. À partir de maintenant, nous pouvons retracer le premier rapport et la flambée subéquente d'un groupe de nouveaux cas de pneumonie humaine dans la ville de Wuhan, en Chine, en décembre 2019. La première date d'apparition des symptômes était le 1^{er} décembre 2019 [22, 16, 36]. Le 11 mars 2020, l'augmentation rapide du nombre de cas en dehors de la Chine a conduit le docteur Tedros Adhanom Ghebreyesus, directeur général de l'OMS, à annoncer que la flambée pouvait être qualifiée de pandémie.

À la mi-mars 2020, la région européenne de l'OMS était devenue l'épicentre de l'épidémie, notifiant plus de 40% des cas confirmés dans le monde. Au 28 avril 2020, la région concourait à 63% de la mortalité mondiale due au virus.

Le premier cas de Covid-19 en Afrique est apparu en février 2020 en Égypte. 53 pays africains sur 54 sont désormais touchés par le coronavirus. Depuis, plusieurs études trop alarmistes ont exploré la piste d'une «catastrophe africaine», qui, près de trois mois après le début de la crise, n'a pas eu lieu. Alors que l'Europe et les États-Unis ont dépassé le million de cas, le nombre officiel de contaminations en Afrique s'élève, à la mi-mai, à 75.530 cas enregistrés, selon le Centre pour la prévention et le contrôle des maladies de l'Union africaine (CDC Afrique).

Le premier cas confirmé de Covid-19 aux USA est annoncé en janvier 2020. Les États-Unis et le Brésil sont les pays où la pandémie de Covid-19 progresse le plus rapidement.

5- LES MODÈLES MATHÉMATIQUES MODÉLISANT LES PANDEMIES

Siettos C I & Russo L [32] ont présenté et discuté les principales approches utilisées pour la surveillance et la modélisation de la dynamique des maladies infectieuses. Ils ont présenté les concepts de base qui expliquent leur mise en œuvre et leur pratique et, pour chaque catégorie, ils ont donné une liste annotée d'œuvres représentatives. La figure 1 donne un aperçu des modèles mathématiques pour les maladies infectieuses

Au fil des ans, un grand nombre d'approches ont été proposées pour examiner le problème sous différents angles. Ceux-ci englobent trois catégories générales (voir figure 1) : (1) les méthodes statistiques de surveillance des épidémies et d'identification des schémas spatiaux dans les épidémies réelles, (2) les modèles mathématiques dans le cadre de systèmes dynamiques (également appelés modèles de l'espace d'état) utilisés pour prévoir l'évolution d'une propagation épidémique « hypothétique » ou en cours, et (3) apprentissage automatique / méthodes expertes pour prévoir l'évolution d'une épidémie en cours. Pour ces trois catégories, il existe à nouveau des approches différentes tissant une littérature vaste et diversifiée.

6- SYNTHÈSE DES TRAVAUX SUR LA MODÉLISATION MATHÉMATIQUE DES ÉPIDÉMIES

En 1760, Bernoulli D. a développé un modèle mathématique d'une épidémie de variole appelée à l'époque «la petite variole» pour analyser la mortalité causée par cette maladie [6]. Son modèle est connu comme étant le premier modèle mathématique de l'histoire de l'épidémiologie [4, 34].

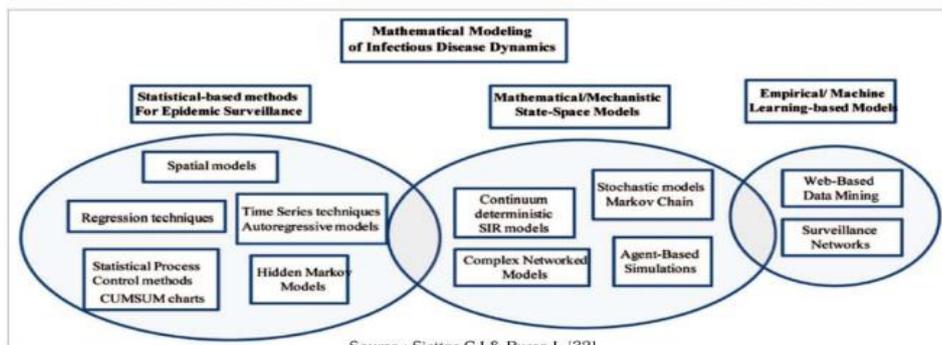
Dans l'article [35], les auteurs donnent une bonne revue de littérature concernant la modélisation mathématique de la grippe saisonnière. Ils ont modélisé la propagation d'une épidémie de grippe dans la population d'Oran, en Algérie. En particulier, ils ont construit un modèle SEIR-SW (Susceptible-Exposed-Infected-Removed dans un réseau Small World) pour identifier les principales caractéristiques de la transmission épidémique et son évolution dans le temps.

Dans [17], les auteurs ont précisé dans quelle mesure les modèles mathématiques de transmission de maladies fournissent des prédictions fiables. Ils ont conclu qu'afin d'utiliser efficacement les modèles mathématiques pour étudier la dynamique de la propagation d'une pandémie, y compris les stratégies de contrôle possibles, il faut être sûr que les valeurs utilisées pour les différents paramètres du modèle correspondent à la réalité. Bien que certains paramètres puissent être déterminés sur la base de connaissances antérieures, d'autres paramètres doivent être estimés en ajustant le modèle aux données disponibles.

Un avantage important de l'utilisation de modèles est que la représentation mathématique des processus biologiques permet la transparence et la précision des hypothèses épidémiologiques, nous permettant ainsi de tester notre compréhension de l'épidémiologie de la maladie en comparant les résultats des modèles et les modèles observés [24].

D'autres chercheurs ont utilisé la modélisation mathématique dans la prédiction de la propagation des épidémies.

A suivre...
Karima Adel-Aïssanou,
Ouiza Lekadir et Djamil Aïssani



Source : Siettos C I & Russo L [32].

Le Quotidien

Edition Nationale d'Information D'ORAN

DÉBAT

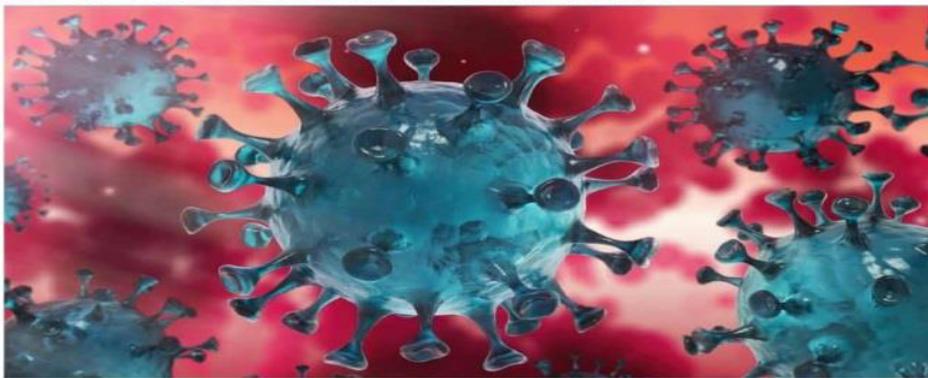
Le Quotidien d'Oran
Mardi 14 juillet 2020 19

Modèles mathématiques et évolution de la pandémie Covid-19 : synthèse de la littérature

Par Karima Adel-Aissanou*,
Ouiza Lekadir* et Djamil Aissani*

Suite et fin

Dans [19], les auteurs ont développé un modèle mathématique pour la dynamique de transmission de l'épidémie de grippe A / H1N1 de 2009 en République de Corée. Dans [8], les auteurs donnent en détail une modélisation mathématique des épidémies et comment interpréter les résultats. Les auteurs du papier [12] se sont préoccupés des conséquences économiques qui auraient pu se produire si la maladie d'Ebola s'était propagée à certains pays en développement de la région Asie-Pacifique. Leurs estimations ont été effectuées avec deux modèles liés : un modèle de transmission des maladies et un modèle multirégional d'équilibre général calculable dynamique (ECC) de l'économie mondiale. Dans [26], l'auteur a donné une modélisation mathématique de la propagation de l'épidémie de sida. Les auteurs dans [23] ont présenté un modèle mathématique de transmission de la grippe porcine avec la vaccination de nouveaux-nés. Dans [9], les auteurs ont passé en revue les progrès récents dans la modélisation et la caractérisation des schémas de croissance épidémique précoce à partir des données sur les flambées de maladies infectieuses, et ont étudié les types de formulations mathématiques qui sont les plus utiles pour saisir une diversité de profils de croissance épidémique précoce, allant de la dynamique de croissance sub-exponentielle à la dynamique de croissance exponentielle. Plus précisément, ils ont examiné des modèles mathématiques qui intègrent des détails spatiaux ou des structures de mélange de population réalistes, y compris des modèles de métapopulation, des modèles de réseaux individuels et des modèles simples de type SIR qui intègrent les effets des changements de comportement réactifs ou de mélange inhomogène. Dans [15], les auteurs ont effectué une revue systématique des modèles mathématiques estimant l'impact épidémiologique des futurs vaccins antituberculeux humains. Avec une méthode rigoureuse, ils ont affirmé que les évaluations économiques ont révélé que les vaccins antituberculeux étaient extrêmement rentables, en particulier lorsqu'ils étaient destinés aux adolescents/adultes. Les auteurs de l'article [32] ont présenté et discuté les principales approches utilisées pour la surveillance et la modélisation de la dynamique des maladies infectieuses. Ils ont présenté les concepts de base qui soutiennent leur mise en œuvre et leur pratique et pour chaque catégorie, ils ont donné une liste annotée d'œuvres représentatives. Dike,



C.O., Zainuddin, Z.M., & Dike, I.J. [12] proposent la technique de mise en file d'attente comme une approche mathématique prometteuse et efficace pour l'étude de la transmission et du contrôle de l'épidémie d'Ebola. De fait, les déductions de l'application de cette théorie (de files d'attente) ont été utilisées pour analyser l'épidémie d'Ebola en Guinée en 2014.

7. SYNTHÈSE DES TRAVAUX SUR LA MODÉLISATION MATHÉMATIQUE DU COVID-19

Dans son étude, Nesteruk I. a utilisé le modèle SIR (Susceptible-Infectieux-Removed) populaire pour obtenir des valeurs optimales pour les paramètres du modèle en utilisant une approche statistique et a donc prédit le nombre de personnes infectées du Covid-19, sensibles et retirées en fonction du temps [28]. Okhuesse V A a montré que l'équilibre sans maladie ($S(0)_{\text{global}}$) pour le coronavirus Covid-19 ne satisfait pas aux critères d'une stabilité asymptotique locale ou globale [29]. Cela est dû au fait qu'en tant que pandémie déclarée par l'OMS (2020), le coronavirus Covid-19 n'a pas encore de vaccin curatif et des mesures de prévention sont recommandées par l'OMS [2020], les auteurs ont obtenu des prévisions avec une méthode d'itération simple qui n'a besoin que des valeurs quotidiennes des cas confirmés en entrée. La méthode prend en compte les récupérations et les décès attendus, et elle détermine les taux de croissance quotidiens maximaux autorisés qui s'éloi-

gnent de l'augmentation exponentielle vers des nombres stables et en baisse. Les prévisions montrent que les taux de croissance quotidiens devraient être maintenus au moins en dessous de 5% si nous souhaitons voir des plateaux prochainement - malheureusement loin de la réalité dans la plupart des pays à ce jour. Les auteurs ont fourni un exécutable ainsi que le code source pour une application simple de la méthode sur les données d'autres pays. Li Y et al. [21] ont établi un modèle dynamique des maladies infectieuses et un modèle des séries chronologiques pour prédire la tendance et la prévision à court terme de la transmission du Covid-19, ce qui a favorisé l'intervention et la prévention du Covid-19 par les départements à tous les niveaux en Chine continentale et gagner plus de temps pour les essais cliniques. Pour comprendre comment maximiser l'efficacité de politiques de quarantaine tout en atténuant les dommages économiques, Goldsztejn U et al. [13] ont développé un modèle mathématique pour évaluer l'impact des mesures de quarantaine sur les décès, les hospitalisations et la production économique. Ils ont utilisé le modèle SEIR pour simuler la propagation de Covid-19. Ils ont intégré les effets des politiques de quarantaine et ont segmenté la population en fonction des risques sanitaires et de la vulnérabilité économique. Ils ont simulé un scénario de base qui laisse les restrictions de quarantaine actuelles en place. Ensuite, ils ont simulé un assouplissement rapide des restrictions de quarantaine pour les non seniors peu de temps après la maîtrise de l'épidémie. Enfin, ils ont

assoupli progressivement les restrictions de quarantaine pour les jeunes, tout en maintenant des restrictions extrêmement strictes pour les seniors. Ils ont obtenu des résultats satisfaisants. Le comportement des processus de branchement repose sur un paramètre crucial appelé taux moyen de reproduction (ou taux moyen de contamination ou taux moyen d'infection) et sa comparaison à la valeur critique 1. Mourid T [27] a étudié ces modèles pour comprendre l'importance de la valeur critique 1 sur le comportement du modèle et ses applications en épidémiologie, en particulier dans la propagation du virus Covid-19.

CONCLUSION

La propagation du Covid-19 dans la population est affectée par la complexité de nombreux facteurs. Il est difficile d'établir un modèle mathématique de propagation dynamique avec des paramètres à estimer et d'obtenir des résultats de simulation assez précis. Pour mieux comprendre la tendance de transmission de Covid-19, nous avons passé en revue les travaux utilisant la modélisation mathématique pour étudier le comportement des pandémies en général, ensuite ceux qui ont traité le Covid-19 dans le but de mettre en place une méthodologie de travail pour une application sur les données en rapport avec la pandémie Covid-19 dans la wilaya de Béjaïa, Algérie.

* Unité de Recherche LaMOS (Modélisation et optimisation des systèmes), Université de Béjaïa

Références bibliographiques

- [1] Abid L. (2003). «Résumé de la peste en Algérie : la sonnette d'alarme ». *santé.émagreb.com*.
- [2] Adjabi S., Abderahmani H., Dehas N. & Aissani D. (2002). «Movement's Simulation of the patient in the Khelil Anzane's Hospital». In Proceedings of the International Congress ICORD 2001, B-e-D, South Africa, pp. 1 and others.
- [3] Arnobius. (1953). «*Arnobii Adversus nationes libri VII*». Ed. Concetta Marchese, Milan.
- [4] Bacsin N. (2009). «*Histoires de mathématiques et de populations*». Ed. Cassini, Paris.
- [5] Beamath. (2020). «Mathematical research takes up the challenge of predicting the evolution of the Covid-19 epidemic and its socio-economic impact». In <https://www.beamath.org/news>.
- [6] Bernoulli D., (1760). «Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole et les avantages de l'oculation pour la prévention». Histoire de l'Académie royale des sciences, Paris.
- [7] Binben J N. (1976). «*Les Hommes et la peste en France et dans les pays européens et méditerranéens (Civilisations et sociétés)*». Ed. Ecole des hautes études en sciences sociales, France.
- [8] Chioisy M., Guégan J F & Rohani P. (2007). «Mathematical Modeling of Infectious Diseases Dynamics». In *Encyclopedia of Infectious Diseases: Modern Methodologies*, Ed. John Wiley & Sons, Inc. (sous la direction de Tibaevic M).
- [9] Chowell G., Sattenspiel L., Bansal S & Viboud C. (2016). «Mathematical models to characterize early epidemic growth: A Review». In *Physics of Life Reviews*, Vol. 18, 66-97.
- [10] Crepey P & Khalilari A. (2020). «Coronavirus : les maths pour mieux comprendre l'épidémie». In *Sciences et Avenir*.
- [11] Dehas N., Adjabi S. et Aissani D. & Abderahmani H. (2006). «Évaluation des Performances d'un système de santé : cas de l'hôpital Khelil Anzane (Béjaïa)». In Actes du Congrès International GISEI'06 (Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers), Luxembourg.
- [12] Dike, C.O., Zainuddin, Z.M., & Dike, I.J. (2018). Mathematical Models for Mitigating Ebola Virus Disease Transmission: A Review. *Advanced Science Letters*, 24, 3536-3543.
- [13] Goldsztejn U., Schwartzman D & Nehorai A. (2020). «Public policy and economic dynamics of COVID-19 spread: a mathematical modeling study». In *MedRxiv*.
- [14] Hamdi Cherif M. (2020). Interview, *Journal Liberté*, 08 juin 2020, p. 5.
- [15] Harris R C., Sumner T, Knight G M & White R G. (2016). «Systematic review of mathematical models exploring the epidemiological impact of future TB vaccines». In *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, Vol. 12(11), 2813-2832.
- [16] Huang C., Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, et al., (2020). «Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China». *The Lancet*.
- [17] Huppert A & Katriel G. (2013). «Mathematical modelling and prediction in infectious disease epidemiology». *Clinical Microbiology and Infections*, European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases, CMJ, 19, 999-1005.
- [18] Jomnagadda J M & Gaddam K. (2016). «Epidemic Analysis and Mathematical Modelling of H1N1(A) with Vaccination». *Preprints 2016*, 20160802250.
- [19] Kim S., Lee J & Jung E. (2017). «Mathematical model of transmission dynamics and optimal control strategies for 2009 A/H1N1 influenza in the Republic of Korea». In *Journal of Theoretical Biology*, 412, 74-85.
- [20] Laporte J P. (2016). «Peuplement et oncosphères naturelles dans l'Afrique du Nord ancienne». In Actes du Colloque International «Le Peuplement du Maghreb antique et médiéval », Souise, Tunisie, pp. 117 - 149.
- [21] Li Y, Wang B, Peng R, Zhou C, Zhan Y, Liu Z, et al., (2020). «Mathematical Modeling and Epidemic Prediction of Covid-19 and Its Significance to Epidemic Prevention and Control Measures». In *Annals of Infectious Disease and Epidemiology*, Vol. 5(1): 1052.
- [22] Liu Y-C et al., (2020). «Covid-19: The first documented coronavirus pandemic in history». *Biomedical Journal*.
- [23] Ljeoma O J, Chioma I S, Sunday U E & Andrew O. (2015). «Mathematical model of the transmission dynamics of swine flu with vaccination of non newborns». In *International Journal of Mathematics Sciences & Engineering Applications*. (IJMS&EA), Vol. 9 (11), 17 pages.
- [24] May R M. (2004). «Uses and abuses of mathematics in biology». In *Science*, 303: 790-793.
- [25] Medlock J. (2002). «Mathematical Modeling of Epidemics». University of Washington, Applied Mathematics Department.
- [26] Merahi M. (2009). «Processus stochastique de population, applications à la théorie stochastique des épidémies : cas du SIDA», thèse de doctorat en sciences, Université de Moutouria de Constantine.
- [27] Mourid T. (2020). «Modèles probabilistes en épidémiologie et le Covid-19». *Le Quotidien d'Oran* juin 2020, p. 5.
- [28] Nesteruk I. (2020). «Statistics based predictions of coronavirus 2019-nCoV spreading in mainland China». In *MedRxiv*.
- [29] Okhuesse V A. (2020). «Mathematical predictions for COVID-19 as a global pandemic». In *MedRxiv*.
- [30] Perc M, Goršek Milotic N, Slawinec M & Stojar A. (2020). Forecasting Covid-19. In *Frontiers in Physics*, Vol. 8(127).
- [31] Shen M, Peng Z & Xiao Y. (2020). «Modeling the epidemic trend of the 2019 novel coronavirus outbreak in China». In *MedRxiv*.
- [32] Siettos C I & Russo L. (2013). «Mathematical modeling of infectious disease dynamics». In *Virusland*, Vol. 4(4), 295-306.
- [33] World Health Organization (WHO). (2020). *Coronavirus:10*
- [34] Younsi F Z. (2016). «*Étude en place d'un Système d'Information Décisionnel pour le suivi et la prévention des épidémies*», thèse de doctorat en sciences, université d'Oran, Algérie.
- [35] Younsi F Z., Bounekar A., Hamdadou D & Boussaid O. (2015). «SER-SW, Simulation Model of Influenza Spread Based on the Small World Network». In *Tarbiyah Science & Technology*, 460-473.
- [36] Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, et al., (2019). «A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019». In *The New England Journal of Medicine*, 382(8) :727-733.

LE DROIT DE SAVOIR, LE DEVOIR D'INFORMER

LIBERTÉ

QUOTIDIEN NATIONAL D'INFORMATION. 37, RUE LARBI BEN M'HIDI, ALGER - N° 8511 JEUDI 16 JUILLET 2020 - ALGÉRIE 30 DA - FRANCE 1,30 € - GB 1£ 20 - ISSN 1111-4290

LA WILAYA RECENSE 1 176 MALADES ET 75 DÉCÈS CONFIRMÉS PAR LA PCR

Flambée exponentielle depuis le déconfinement à Béjaïa

Depuis l'apparition de l'épidémie de Covid-19 dans la wilaya de Béjaïa et jusqu'à avant-hier, la région a enregistré, selon le directeur de la santé de la wilaya, pas moins de 1176 malades et 75 décès dus au coronavirus. Un bilan officiel confirmé par la PCR sur les 2342 cas suspects. L'épidémie a connu une flambée exponentielle depuis le début du déconfinement, nous a déclaré Idris Khodja Hadj, DSP de la wilaya de Béjaïa.

Une flambée inquiétante, soutient-il, due au relâchement de la population dans le respect strict des gestes barrières. "Toutes les communes de la wilaya sont presque touchées par la propagation du virus depuis le déconfinement. La situation est inquiétante dans 17 communes de la wilaya", signale notre interlocuteur. Il s'agit de toutes les communes de la côte est, du chef-lieu de wilaya et de certaines communes de la vallée de la Soummam.

Pour étayer ses propos, le DSP signale qu'"avant le déconfinement, on enregistrerait deux hospitalisations par jour,

mais maintenant, nous sommes à 80 hospitalisations". "Avant, c'était des clusters professionnels. Maintenant, c'est communautaire. Le virus actuellement circule dans la société du fait au relâchement de la population", regrette Idris Khodja Hadj. Une croissance de la courbe des contaminés et des décès dans la région qui a contraint, signale notre interlocuteur, sa direction à prendre des mesures palliatives pour l'hospitalisation des malades Covid-19 par la réquisition des structures comme, à titre d'exemple, le château de la Comtesse d'Aokas et l'Auberge de jeunes de Kherrata, en sus de l'ouverture d'un autre étage au CHU Khelil-Amrane, dédié au Covid-19. Des mesures palliatives prises du fait du débordement des structures sanitaires. Devant cette flambée de l'épidémie, Le DSP ne cache pas que le personnel de la santé est au bord de la dépression. "La pression s'exerce au quotidien sur le personnel de la santé. La situation est telle que nous sommes obligés de faire travailler des infirmiers stagiaires à l'école paramédicale d'Aokas

pour renforcer les CHU", signale le DSP à cet effet, et qui précise, au passage, que 53 malades et 2 décès Covid-19 sont enregistrés dans les rangs du personnel sanitaire.

"Actuellement, nous avons les moyens pour contenir la situation, mais si la population ne se ressaisit pas, nous risquons d'être dépassés", avertit solennellement le DSP. Ce dernier appelle au sursaut de la population pour le respect des mesures barrières et ne pas croire au schisme de certains. "Le virus circule et le danger est permanent", déclare avec force Khodja Hadj à l'adresse de la population. Et d'ajouter: "La responsabilité est collective et individuelle." Une réunion de la cellule de crise de wilaya s'est tenue, hier, au siège de la wilaya pour étudier la situation préoccupante de l'épidémie de coronavirus et les nouvelles mesures à prendre dans la région par le wali. Il n'est pas exclu, selon certains observateurs, que le wali instaure un nouveau confinement dans certaines communes très touchées par le rebond de cette épidémie.

L. OUBIRA

