

La modélisation mathématique de l'épidémie Covid-19.

Le succès de la modélisation mathématique des maladies virales a motivé notre choix à effectuer une étude axée sur le nouveau virus SARS-CoV-2, à savoir sa dynamique et les différents facteurs mis en jeu afin d'adopter des mesures efficaces pour lutter contre l'épidémie.

La modélisation des épidémies et la détermination des facteurs agissant sur la propagation de ces dernières afin de conserver la sécurité sanitaire des citoyens demeurent l'enjeu social le plus important dans cette crise sanitaire.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- EL HAJJAMI Mohamed
- EL YESSEFI Mohamed

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Analyse).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Nombre de reproduction</i>	<i>Reproduction number</i>
<i>Modélisation</i>	<i>Modeling</i>
<i>Épidémiologie</i>	<i>Epidemiology</i>
<i>Modèles compartimentaux</i>	<i>Compartmental models</i>
<i>Equations différentielles</i>	<i>Differential equations</i>

Bibliographie commentée

Les médecins grecs du Ve siècle avant J.-C. qui étaient les premiers qui ont utilisé fréquemment l'adjectif ἐπιδημιος (epidēmios) et le verbe ἐπιδημεῖν (epidêmein). Tirées du mot δῆμος (dêmos), « pays, territoire », puis « peuple », ces formes composées désignent « ce qui se trouve dans le pays ». Ainsi, le médecin grec Hippocrate (460 av. J.-C, 377 av. J.-C) serait le premier épidémiologiste de l'histoire. Cependant, les mathématiques n'avaient pas leur place en épidémiologie, qui était une discipline relevant exclusivement de la médecine. Ce n'est qu'au XV^e siècle avec les travaux du médecin/physicien/mathématicien suisse Daniel Bernoulli (1700 -1782) sur la variolisation , le premier travail de modélisation en épidémiologie, que l'on commence à comprendre leur importance, et qu'au XX^e siècle qu'elle commence réellement à se développer telle que nous la connaissons aujourd'hui, grâce aux travaux de W.O. Kermack et A.G. McKendrick [7]

(<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00633827/document>)

L'épidémiologie mathématique est une discipline scientifique relevant des mathématiques appliquées, consiste à modéliser l'évolution de l'épidémie grâce à des outils mathématiques. Ces outils peuvent consister en un système d'équations aux dérivées partielles, de la théorie des graphes, des probabilités, elle décrit les variations de fréquence des maladies dans les groupes humains, et recherche les déterminants de ces variations. Elle aide à la description de données complexes afin de faciliter la diffusion des résultats, à l'estimation des valeurs de paramètres qui ne peuvent être directement mesurés dans une observation dans une expérience, à la prévision des nombres de cas futurs dans certaines maladies l'optimisation de plans expérimentaux. Elle vise à la compréhension des causes des maladies, et à l'amélioration de leurs traitements et ainsi pouvoir les contrôler [8] (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0764446900001530>)

Pendant une crise sanitaire, plusieurs questions se posent, jusqu'où la courbe des infectés et des décès va-t-elle grimper ? Quelle est l'efficacité des mesures de gouvernement décidées ? Peut-on atteindre l'immunité collective ? Les modèles mathématiques des épidémies telles SIR et SEIR répondent à ces questions. Ainsi, elles introduisent une nouvelle notion qu'on appelle le nombre de reproductions de base R_0 , qui décrivant le nombre moyen de nouvelles infections dues à un individu malade, il permet de distinguer le cas où l'épidémie s'étendra ou non, R_0 peut intégrer l'effet des interventions selon leur efficacité à réduire le taux de contact (quarantaine), la transmission lors des contacts (protection individuelle, meilleure hygiène, vaccination) ou la durée de la période infectieuse (diagnostic, traitement). [1] (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02509142>) . [2] (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02543953>) . Ce dernier joue un rôle très important pour la prise des décisions. Or, il dépend non seulement de la façon dont la maladie se transmet, mais aussi du nombre de contacts que chaque individu a chaque jour. [3] (<https://theconversation.com/comprendre-les-bases-des-modeles-mathematiques-des-epidemies-136056>) [4] <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02910202>

La crise sanitaire mondiale du Coronavirus Covid-19 a démontré le rôle des modélisations mathématiques dans la prise de décisions politiques et sanitaires, Alors même que les données et les connaissances sur la maladie émergente étaient parcellaires, une grande diversité de modèles a été développée et appliquée dans des délais inédits, dans l'objectif d'estimer le nombre de reproduction, la date de début de l'épidémie ou l'incidence cumulée, mais aussi afin d'explorer différents scénarios d'interventions non pharmaceutiques. Ils sont montrés à quel point des mesures telles que la distanciation, les verrouillages régionaux, la quarantaine et la surveillance de santé publique mondiale, influencent les paramètres du modèle, ce qui peut éventuellement modifier les taux de mortalité et le nombre des cas contaminés au fil du temps, dans le monde réel [5]. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01327414>)

[6]. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02561051v2>)

Problématique retenue

Comprendre la dynamique régissant sur la propagation du Covid 19 afin d'établir des stratégies de

prévention et d'intervention permettant de diminuer son impact sur la santé publique et de sortir de la quarantaine au moindre coût.

Objectifs du TIPE

- I. La présentation de quelques modèles mathématiques pour étudier la dynamique de la propagation du Covid 19.
- II. La détermination de l'expression du nombre de reproduction de base R_0 .
- III. L'analyse de diverses stratégies appliquées pour le contrôle de la maladie et la minimisation du taux de reproduction journalier.
- IV. Donner une simulation des modèles mathématiques que nous avons présenté en langage python.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] NICOLAS BACAËR : Un modèle mathématique des débuts de l'épidémie de coronavirus en France : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02509142>
- [2] RADOUANE YAFIA : Modélisation et Dynamique en Épidémiologie, COVID19 avec Confinement et Isolation-Application au Cas du Maroc : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02543953>
- [3] ÉTIENNE PARDOUX : Comprendre les bases des modèles mathématiques des épidémies : <https://theconversation.com/comprendre-les-bases-des-modeles-mathematiques-des-epidemies-136056>
- [4] STÉPHANE DERRODE , : Piecewise estimation of R_0 by a simple SEIR model. Application to COVID-19 in French regions and departments until June 30, 2020 : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02910202>
- [5] LAETITIA LAGUZET : Mathematical and numerical modeling of social behavior in an uncertain environment : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01327414>
- [6] TAHAR BOULMEZAOUD : Un modèle de prédiction de l'épidémie Covid-19 et une stratégie zig-zag pour la contrôler : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02561051v2>
- [7] DJAMILA MOULAY : Modélisation et analyse mathématique de systèmes dynamiques en épidémiologie. Application au cas du Chikungunya : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00633827>
- [8] ALAIN-JACQUES VALLERON : Les rôles de la modélisation en épidémiologie Roles of mathematical modelling in epidemiology. : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0764446900001530>

DOT

- [1] *En octobre 2020, le choix du sujet, ce dernier était motivé par l'intervention du Dr PIERRE NABETH dans l'Organisation mondiale de la santé, WHO, qui affirmait qu'une modélisation mathématique aide à comprendre la dynamique observée de la maladie et à l'empêcher de diffuser.*
- [2] *En Novembre et Décembre 2020, l'étude des modèles mathématiques à compartiments (SIR et*

SEIR) et de leurs équations du mouvement, qui servent à décrire l'évolution d'un virus en générale et du COVID-19 en particulier. La comparaison des résultats théoriques aux résultats réels pour vérifier la validité de ces modèles.

[3] *En janvier 2021, nous avons découvert l'importance d'un paramètre de seuil qui est le nombre de reproduction de base R_0 qui permet de distinguer le cas où l'épidémie s'éteindra ou non. Et après nous avons déterminé l'expression de R_0 par la méthode next-generation matrix.*

[4] *En Février 2021, la réalisation d'une simulation à l'aide du python afin de résoudre le système des équations différentiels et afin de représenter les solutions obtenues.*

[5] *En Mars 2021, nous avons analysé les stratégies prises par les gouvernements et leur efficacité dans le contrôle de l'épidémie du COVID-19, et nous avons cherché d'autres stratégies qui peuvent minimiser le nombre des décès et des infectés.*