

Modélisation de la propagation d'une épidémie et optimisation de l'immunisation d'une population

La situation pandémique occupe l'actualité mondiale depuis l'émergence du virus SARS-CoV-2 en Décembre 2019. Ainsi, l'omniprésence des données et informations concernant la pandémie m'a motivé à s'intéresser davantage au domaine de l'épidémiologie, et par conséquent, focaliser mon TIPE sur l'étude des épidémies et particulièrement le procédé de la vaccination.

La vaccination est clairement la méthode idéale pour limiter la propagation d'une épidémie. Cependant, les défis industrielles et économiques posent des grands obstacles. Ainsi, élaborer une stratégie de vaccination optimale est un enjeu sociétal majeur qui pourra assurer une sécurité sanitaire en économisant les ressources et le temps.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Épidémiologie mathématique</i>	<i>Mathematical epidemiology</i>
<i>Modélisation mathématique</i>	<i>Mathematical Modeling</i>
<i>Optimisation</i>	<i>Optimization</i>
<i>Immunisation d'un réseau</i>	<i>Immunization of a network</i>
<i>Théorie des graphes</i>	<i>Graph Theory</i>

Bibliographie commentée

L'épidémiologie est la science qui étudie les variations de fréquences des maladies dans les groupes humains et recherche les déterminants de ces variations. L'épidémiologie en tant que discipline scientifique voit le jour au XVIII^e siècle grâce aux travaux de Daniel Bernoulli qui a élaboré un modèle pour limiter la propagation de la Variole. Ce modèle a joué un grand rôle pour éradiquer cette maladie infectieuse. [1]

L'émergence du *Sars-CoV-2* et les conséquences de sa propagation sur notre situation socio-économique, nous a montré l'importance de prendre les bonnes décisions concernant la gestion d'une situation pandémique. Une telle tâche n'est pas facile, d'où la nécessité de se baser sur un modèle mathématique robuste qui prend en compte les différentes variables intervenantes et facilite la prise de décision, notamment le modèle SIR de Kermack-Mckendrick qui résume l'évolution d'une épidémie grâce à un système d'équations différentielles qui suit l'évolution des susceptibles, infectés et retirés (sains ou morts). Ainsi, nous pourrions définir le fameux "Taux de reproduction de base R_0 " et étudier les variables qui nous permettront de sécuriser un état sanitaire favorable. [2]

Par rapport à la distanciation sociale et les confinements de la population, la vaccination est évidemment la méthode idéale afin de limiter la propagation d'une épidémie. Cependant, la vaccination totale d'une population est une tâche difficile dire même impossible, car d'une part, le fait que la population soit souvent modélisée par un réseau invariant d'échelle (Scale-Free-Network)

suivant une loi de puissance, nous empêche d'avoir une connaissance globale sur la topologie de la population. D'autre part, les défis industriels et économiques liés à la production et à la maintenance des vaccins empêche la réalisation d'une immunité grégaire [3]. Ainsi, l'élaboration d'une méthode d'immunisation optimale qui nous permettra de réaliser une sécurité sanitaire en minimisant les ressources, est un enjeu sociétal majeur.

Afin d'aborder ce problème, nous adopterons une approche probabiliste pour modéliser la propagation d'une épidémie dans un graphe invariant d'échelle en utilisant la librairie *NetworkX*. Ensuite, nous introduirons trois différentes approches d'immunisation de la population, et nous comparerons entre ces procédés, et finalement nous déduirons quant à leurs efficacités. [4][5][6]

Problématique retenue

La complexité des réseaux modélisant les populations et les défis industriels et économiques liés à la manufacture, la maintenance et la distribution des vaccins empêchent la réalisation d'une immunité grégaire. Il s'agira alors d'optimiser le procédé de la vaccination afin d'assurer une sécurité sanitaire.

Objectifs du TIPE

1. Présenter un modèle épidémiologique (SIR), afin de définir le taux de reproduction de base et mettre en valeur la nécessité de la vaccination.
2. Modéliser la propagation d'une épidémie dans une population par un modèle probabiliste.
3. Introduire et comparer trois différentes approches d'immunisation, et déduire quant à leurs efficacités.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] ALAIN-JACQUES VALLERON : La Jaune et La Rouge, Brève histoire de l'épidémiologie avant le XXe siècle : <https://www.lajauneetlarouge.com/breve-histoire-de-lepidemiologie-avant-le-xxe-siecle/#.XDCK9MYo9uQ>
- [2] MAIA MARTCHEVA : An Introduction to Mathematical Epidemiology : DOI: 10.1007/978-1-4899-7612-3
- [3] OLIVIER J WOUTERS, KENNETH C SHADLEN, MAXIMILIAN SALCHER-KONRAD, ANDREW J POLLARD, HEIDI J LARSON, YOT TEERAWATTANANON, MARK JIT : Challenges in ensuring global access to COVID-19 vaccines: production, affordability, allocation, and deployment : DOI: 10.1016/S0140-6736(21)00306-8
- [4] N. MADAR, T. KALISKY, R. COHEN, D. BEN-AVRAHAM, S. HAVLIN : Immunization and epidemic dynamics in complex networks : DOI: 10.1140/epjb/e2004-00119-8
- [5] ROMUALDO PASTOR-SATORRAS, ALESSANDRO VESPIGNANI : Immunization of complex networks : DOI: 10.1103/PhysRevE.65.036104
- [6] Targeted immunization strategies : https://en.wikipedia.org/wiki/Targeted_immunization_strategies

DOT

- [1] *J'ai pris connaissance des notions générales de l'épidémiologie, et des méthodes d'immunisation optimales.*
- [2] *J'ai trouvé des difficultés à comprendre quelques références dû aux manque de connaissances concernant la théorie des graphes et la théorie de percolation*
- [3] *J'ai renforcé mes connaissances concernant ces théories.*
- [4] *Construction du premier modèle, qui présente l'évolution des fractions S , I , et R en fonctions du temps. Cette modélisation présente des difficultés dû à sa dépendance du temps.*
- [5] *J'ai finalement reconstruit un modèle pour qu'il suit l'évolution de la fraction infectée en fonction de la fraction immunisée. Ce modèle donne une idée plus claire sur les différences et les efficacités des procédés d'immunisation.*