

Devoir Maison

Modélisation de la propagation du COVID-19

Résumé

L'objectif de ce travail est de :

- modéliser la propagation d'une épidémie à l'aide d'un modèle simple à travers le temps et
- d'étudier l'impact de différents paramètres (graphe de contact, taux de létalité, ...) et de politique de confinement/tests.

Ce modèle n'est pas supposé refléter exactement la réalité mais peut permettre d'appréhender les événements en cours.

Ce travail est à réaliser par groupe de 3 ou 4 et un rapport devra être envoyé **avant le 4 mai** par mail à hanusse@labri.fr

Hypothèses du modèle

L'état d'une personne est soit:

- Sain (S), Infecté (Malade), Rémission et Immunisé (R), Décédé (D)

Les principaux paramètres sont:

- taux de mortalité p ,
- taux de propagation q ,
- durée de maladie r ,

Règles de changement d'état (on retire chaque jour la probabilité de tomber malade):

- Si une personne saine X fréquente une personne malade Y alors, avec probabilité q , X devient malade par l'intermédiaire de Y pour une durée r .
- Si une personne est malade depuis r jours alors soit elle décède avec probabilité p ou devient immunisé avec probabilité $(1-p)$

- une personne immunisée ou décédée ne change jamais d'état
- Initialement, on considère qu'une seule personne est malade et les $(n-1)$ autres personnes sont immunisées.
- une personne décédée ne peut contaminer une personne saine

Topologie du graphe de contact G :

- **graphe circulaire (V, E)** : On considère les personnes numérotés de 1 à n et chaque personne, numéroté i , est relié aux personnes $(i-1)$ et $(i+1)$ modulo n .
- **graphe aléatoire (V, E')** : On tire un graphe aléatoire de taille n de la manière suivante. Chaque noeud choisit k noeuds choisis au hasard. Le nombre total d'arêtes est donc $k*n$ et le degré moyen est $2k$.
- **graphe mixte (V, E)** : le graphe est issu d'une union de graphe circulaire et de graphe aléatoire

Modèle de graphe:

- **statique (graphe de confinement de paramètre k')**: une personne confinée fréquente $k' \leq k$ personnes sélectionnées au hasard. Il n'est pas autorisée à voir les autres personnes pendant le confinement.
- **dynamique (graphe de baisse de fréquentation de paramètre k')**: chaque jour, chaque personne est autorisée à voir k' personnes qu'elle sélectionne parmi ses k contacts. Il peut donc voir des personnes différentes d'un jour à l'autre.

Travail à faire

Partie 1 (à faire avant le 15 avril):

On désire étudier l'impact de la diminution de contacts sur la propagation de l'épidémie pendant 6 mois.

- On veut modéliser la séquence de graphes G_1 , G_2 ou G_i , sous-graphe de G , correspond au graphe au jour i . Décrire le graphe
- Dans votre langage de programmation de votre choix, simuler la propagation dans le graphe circulaire dans les deux modèles de dynamique avec des graphes de taille 100, 1000, 10000 (on peut prendre $r=14$, $p=1\%$ et $q=2\%$, $k=50$ par exemple) et en faisant varier k' de 1 à k .
- Faire de même dans le graphe aléatoire et le graphe mixte.
- On veut connaître le nombre de personnes saines, malades, immunisés, décédés chaque jour sur une période longue.

Partie 2 (à faire avant le 22 avril)

On crée un nouvel état confiné C pour chaque personne. Une personne confinée ne peut voir pendant $r+1$ jours que les k' contacts du jour précédent (confinement faible) ou elle est mise à l'écart, sans aucun contact, pendant $r+1$ jours (confinement fort). On désire étudier l'impact de confinement ciblé dans les scénarios suivants :

- **Sans test** : on suppose qu'on ne sait pas qui est malade ou non. On détecte juste qu'une personne est décédée.
- **Sans test mais avec confinement**: Sans test mais confinement des personnes ayant contacté le défunt dans les $r' \leq r$ derniers jours.
- **Avec test sur proches des défunts**: uniquement sur les personnes ayant contactées le défunt dans les r' derniers jours.
 - Si la personne est malade, elle est détectée « positive » avec une probabilité **p_{test} (on peut prendre $p_{\text{test}}=70\%$)**
 - Une personne détectée positive est confinée
- **Tests aléatoires et confinement** : on teste un échantillon aléatoire de $n' \leq n$ personnes chaque jour. Si on détecte une personne malade, elle devient confinée.
- **Tests massifs** : On combine les 2 stratégies de dépistage précédentes.

En faisant varier les différents paramètres, indiquer l'impact des différents scénarios sur le nombre de personnes dans chaque état.

Partie 3 (Libre & Rapport)

Dans cette partie, chaque groupe a la liberté (et pas l'obligation) d'ajouter des variantes pour plus de réalisme : graphe de contacts plus réels, autre stratégie de dépistage, taux de mortalité dépendant de l'âge des personnes, décider de passer d'une stratégie de confinement à une autre un jour donné ...

Selon la volonté du groupe, une interface web peut être ajoutée à des fins pédagogiques.

Le rapport doit détailler les modélisations de graphe, la complexité des algorithmes utilisés, des courbes montrant l'évolution des états de la population. Si jamais vous réutilisez le code ou des outils, vous devez les référencer. Chaque personne doit indiquer quelle partie elle a développé.

Le code implémenté doit être mis dans une archive et doit être exécutable.

Dans le rapport, on peut :

- Représenter des graphes avec un visualisateur de graphes : graphviz, graphvis, gephi,
- Représenter les courbes de changements d'états en fonction du temps : gnuplot, excel, ...

Liens vers des simulations du modèle simple SIR sur le graphe complet:

- <https://jflorian.shinyapps.io/SIRmodel/>
- <https://sciencetonnante.wordpress.com/2020/03/12/epidemie-nuage-radioactif-et-distanciation-sociale/>
- <https://sciencetonnante-epidemie.netlify.com/>