

Projet APO

Modèles de dynamique épidémique

Mathieu Lefort

7 décembre 2020

1 Modalités pratiques

Ce TP est à faire par groupe de 2 et est à rendre pour le 22 janvier 2021.

2 Évaluation

Vous serez évalués sur les points suivants :

- Méthodologie (1 point)
- Conception (8 points)
- Code (8 points)
- Documentation (3 points)
- Extensions optionnelles (? points suivant vos choix)

2.1 Méthodologie

Vous expliquerez votre méthodologie de travail (articulation entre conception et codage, déroulé temporel du projet, ...) et la répartition des tâches entre les différents membres du groupe.

2.2 Conception

Vous utiliserez les différents types de diagrammes vus en TDs à bon escient (i.e. permettant à quelqu'un d'extérieur au projet de savoir de quoi il est question et de coder le projet). Pour rappel, pour le diagramme de cas d'utilisations, chaque cas d'utilisation doit être décrit par un texte.

Votre conception devra être modulaire et donc permettre une intégration sans trop d'efforts des différentes extensions possibles. Il ne vous est pas demandé de modéliser les extensions non faites, mais d'intégrer leur éventuelle insertion dans votre réflexion lors de votre conception.

Les différents choix (majeurs) de votre conception devront être justifiés.

2.3 Code

Le code devra être clair (indentation, noms de variables pertinentes, ...), utiliser la généricité et être autant que possible efficace. Il devra également et surtout être en accord avec la conception. Penser à bien vérifier et traiter (avec des exceptions) les cas d'erreurs dans vos méthodes.

Pensez à utiliser au maximum les packages pour structurer vos fichiers/classes.

2.4 Documentation

Vous générerez la javadoc de votre code (documentation des classes, méthodes, paramètres, ...). Vous penserez également à commenter votre code là où vous le jugez utile.

2.5 Extensions

Plusieurs extensions optionnelles vous sont proposées. À vous de voir celles qui peuvent vous intéresser. Il est tout à fait possible également de proposer (et d'implémenter) vos propres extensions. Si vous décidez de faire des extensions, votre note maximale potentielle peut dépasser 20. En pratique votre note sera plafonnée à 20 pour le projet, les points supplémentaires seront transférés à votre note de CC avec un barème à définir. L'idée des extensions est surtout une opportunité de pousser l'exploration de Java plus loin si vous le souhaitez.

3 Sujet

L'objectif du projet est de modéliser la dynamique de propagation d'une épidémie dans une population.

3.1 Modèles à compartiments

3.1.1 Modèle SIR

Le modèle SIR (voir figure 1) a été proposé en 1927 en lien avec la politique sanitaire de vaccination contre la variole (voir <http://images.math.cnrs.fr/Modelisation-d-une-epidemie-partie-1.html>). Il permet de représenter très simplement la dynamique d'évolution d'une épidémie. La population est séparée en catégories (appelées compartiments) :

- S : les personnes saines
- I : les personnes infectées
- R : les personnes retirées (soit guéries soit décédées)

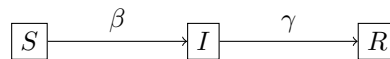


FIGURE 1 – Modèle SIR

Les personnes passent d'une catégorie à l'autre suivant les équations (différentielles) suivantes ¹ :

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} &= -\beta S(t)I(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} &= \beta S(t)I(t) - \gamma I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} &= \gamma I(t) \end{cases}$$

Ainsi, à chaque pas de temps :

- un certain nombre de personnes égal à $\beta S(t)I(t)$ passe de la catégorie S à la I . Cela représente le fait que chaque personne infectée (catégorie I) rencontre chaque personne saine (catégorie S) et la contamine avec une probabilité β .
- un certain nombre de personnes égal à $\gamma I(t)$ passe de la catégorie I à la R . D'un point de vue individuel, chaque personne a ainsi une probabilité γ de ne plus être infectée (guérison ou décès).

3.1.2 Modèle SEIR

Ce modèle est dérivé de SIR et vise à le rendre un peu plus réaliste en introduisant une période d'incubation de la maladie. Ainsi une nouvelle catégorie E (pour exposé) est introduite et les personnes saines contaminées passent d'abord par cette catégorie avant d'être infectées.

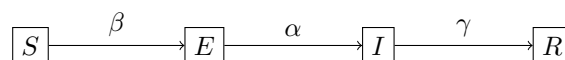


FIGURE 2 – Modèle SEIR

Les équations deviennent ainsi :

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} &= -\beta S(t)I(t) \\ \frac{dE(t)}{dt} &= \beta S(t)I(t) - \alpha E(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} &= \alpha E(t) - \gamma I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} &= \gamma I(t) \end{cases}$$

1. Pour information, le R_0 correspondant au taux de reproduction d'une épidémie est égal à $\frac{\beta}{\gamma}$.

3.1.3 Modèle SEIR avec évolution de la quantité de population

Dans le modèle précédent, la population $N(t) = S(t) + E(t) + I(t) + R(t)$ est constante puisque les personnes passent d'une catégorie à l'autre². Afin d'étudier les dynamiques sur le plus long terme, on peut par exemple rajouter un terme de naissance (proportion η) et un terme de mort naturelle (proportion μ).

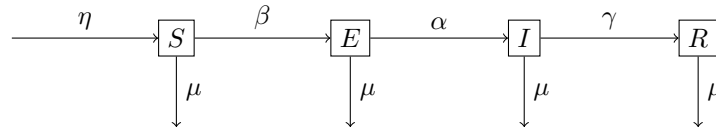


FIGURE 3 – Modèle SEIR avec naissance

Les équations sont alors les suivantes :

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t)I(t) + \eta N(t) - \mu S(t) \\ \frac{dE(t)}{dt} = \beta S(t)I(t) - \alpha E(t) - \mu E(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \alpha E(t) - \gamma I(t) - \mu I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) - \mu R(t) \end{cases}$$

3.1.4 Modèle générique

On peut rajouter des catégories et des transitions à un modèle à compartiments pour le complexifier (et le rendre plus réaliste). Par exemple, on peut faire un modèle de type SEIR par âge, chaque âge ayant des taux d'infection/guérison/... différents et l'infection se faisant de manière privilégiée entre des âges similaires (voir <http://images.math.cnrs.fr/Modelisation-d-une-epidemie-partie-2.html>).

De manière générale un modèle par compartiment est défini par un certain nombre de catégories et des transitions entre ces catégories (potentiellement la population globale, comme c'est le cas pour les naissances et les décès naturels dans le modèle SEIR avec naissance, section 3.1.3). Le nombre de personnes passant d'une catégorie à l'autre est égale à un facteur multiplié par le nombre de personnes dans la catégorie de départ. Seule la transition d'infection est différente car elle implique le contact entre une personne saine et une personne infectée et la proportion n'est donc pas simplement dépendente de la catégorie saine (catégorie de départ) mais aussi de la catégorie infectée (même si ce n'est pas la catégorie d'arrivée comme dans le modèle SEIR, section 3.1.2).

3.2 Spatialisation et comportement

Dans les modèles précédents, toutes les personnes sont supposées être dans le même lieu (puisque chaque personne infectée est susceptible de contaminer toutes les personnes saines) et seule leur catégorie change. Afin de rendre le modèle plus réaliste, on peut également doter chaque personne d'une localisation spatiale. Chaque personne va alors se déplacer avec un comportement défini et les personnes infectées peuvent uniquement contaminer les personnes saines proches.

3.2.1 Monde simple

Le monde correspond à une grille torique de $M \times N$ cases. À chaque pas de temps les personnes se déplacent de manière aléatoire dans une des quatre directions (Nord, Sud, Est, Ouest) ou restent sur place. Il est à noter que si la seule action disponible est de rester sur place et que toutes les personnes sont initialement au même endroit, cela revient aux modèles sans spatialisation. Une personne infectée ne peut alors contaminer que les personnes (saines) qui sont sur sa position.

3.2.2 Politiques publiques

Afin d'évaluer les impacts des politiques publiques sur la dynamique de propagation d'une épidémie, on peut implémenter différents types de mécanismes :

2. C'était aussi le cas pour le premier modèle, à la différence près que $N(t) = S(t) + I(t) + R(t)$.

- **Confinement** : Tout ou partie des personnes ne peuvent plus se déplacer et restent sur leur case. Pour représenter un comportement plus réaliste, on peut réduire très fortement la probabilité de déplacement, plutôt que de la réduire à 0.
- **Port du masque** : Le taux de contamination β est fortement diminué. Pour un comportement plus réaliste, seule une partie de la population va porter un masque et avoir son taux de contamination baisser.
- **Quarantaine** : Les personnes infectées ne vont plus pouvoir contaminer d'autres personnes.
- **Vaccination** : À chaque pas de temps, une certaine proportion de personnes saines vont se faire vacciner et passer dans la catégorie R .

4 Tronc commun

Vous devez implémenter les différents aspects décrits dans la section précédente à savoir :

1. les modèles SIR, SEIR et SEIR avec naissance
2. la spatialisation des personnes
3. les politiques publiques

Un petit menu textuel permettra de choisir quelle simulation lancer (choix du modèle, choix de la spatialisation ou non, application ou non des politiques publiques). À la fin de la simulation un résumé textuel devra indiquer l'évolution de la proportion de personne dans chaque catégorie.

5 Extensions possibles

5.1 Environnement de travail (1 point)

Vous utiliserez un git (dont l'adresse sera à fournir dans le rapport) pour faire le suivi de versions tout au long de votre projet.

5.2 Installation (1 point)

Vous fournirez un fichier build.xml (regardez <https://ant.apache.org/>) permettant de compiler votre code (à partir d'un dossier src), de générer la javadoc (dans un dossier doc) et de supprimer l'installation (fichiers compilés et documentation). Si vous faites également une extension demandant l'utilisation d'un framework hors JRE, le fichier devra également s'occuper de l'installation du framework le cas échéant.

5.3 Tests unitaires (3 points)

Vous implémenterez des tests unitaires des méthodes principales de votre programme (regardez <https://junit.org/junit5/>).

5.4 Fichier de configuration (2 points)

Faites en sorte que tous les paramètres de la simulation soient stockés dans un fichier de configuration (humainement lisible et éditable). Ce fichier sera passé en paramètre de votre programme principal.

5.5 Sauvegarde (2 points)

Sauvegardez dans un fichier de type Excel les résultats des simulations afin de pouvoir faire les graphiques a posteriori.

5.6 Interface graphique (3 points)

- En plus (ou à la place) d'une interface textuelle, vous proposerez une interface graphique pour
- le choix des paramètres de la simulation
 - l'affichage des résultats

Vous respecterez au mieux le *design pattern* MVC (Modèle Vue Contrôleur), à savoir a minima avoir les classes d'affichages séparées de celles du modèle. Regardez par exemple les bibliothèques d'affichage *PtPlot* ou *JFreeChart*.

5.7 Modèles améliorés (3 points)

Proposez une interface permettant la création du modèle générique de son choix (voir section 3.1.4), i.e. les catégories, les transitions et les paramètres. Il faut que le modèle fasse toujours sens et donc qu'il y ait au minima les catégories saine, infecté et retiré et la transition de contamination.

Implémentez l'évolution des paramètres des transitions pendant le temps. Cela permet à la fois l'évolution de la maladie, mais aussi l'évolution des comportements, et en particulier des politiques publiques.

5.8 Spatialisation améliorée (1 point)

Une ville est représentée par une grille et certaines cases correspondent aux gares/routes permettant d'aller d'une ville à l'autre. Ainsi le comportement des personnes une fois sur cette case de transport est d'aller (avec une certaine probabilité) dans une autre ville. Cela permet d'étudier la dynamique de propagation sur un territoire.