

## Lutter contre la propagation d'une épidémie : simulations par un modèle multi-agents de quelques mesures de prévention

Les nombreux débats autour de la COVID-19 sur l'efficacité des mesures barrières et des confinements ont réussi à susciter une défiance au sein de la population. Je souhaite analyser, à l'aide de simulations, l'importance de respecter ces mesures, et trouver quel doit être le degré d'obéissance civile pour endiguer l'épidémie.

L'épidémiologie a pour objet d'étude la propagation de maladies au sein d'une population. L'apparition de nouveaux agents infectieux porte atteinte à l'intégrité des individus puisque a priori aucune forme de traitement n'existe. La mise en place de règles de bonne conduite pour éviter leur propagation est un enjeu sociétal majeur

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Épidémiologie</i>	<i>Epidemiology</i>
<i>Modèles multi-agents</i>	<i>Agent based model</i>
<i>Phénomène d'émergence</i>	<i>Emergence phenomenon</i>
<i>Analyse de système complexe</i>	<i>Analysis of complex systems</i>
<i>Mesures de prévention</i>	<i>Preventive measures</i>

### Bibliographie commentée

Des maladies virales telles la COVID-19 ou la grippe représentent un danger majeur pour les individus. Afin de limiter leur incidence sur les citoyens, les politiques de santé publique assurent l'élaboration de traitement et la prise en charge des malades, mais doivent aussi permettre de prévenir la propagation de ces virus au sein de la population. Le recours à l'épidémiologie permet l'étude des maladies sur un plan collectif, à l'inverse des médecins qui soignent des individus. L'épidémiologie analytique essaye de trouver les causes et les facteurs de risque d'apparition liés à une pathologie, tandis que l'épidémiologie descriptive a pour mission de recenser les cas, d'analyser leur répartition géographique et temporelle. Leur recherche combinée a pour objectif d'épauler les pouvoirs publics dans la mise en place de mesures préventives (1,2).

Une méthode utilisée en épidémiologie est la réalisation de modèles mathématiques et informatiques pour étudier un pathogène puis pour retranscrire la compréhension actuelle de sa propagation. De nombreuses révolutions ont vu le jour :

- Les études statistiques et les simulations réelles grâce aux boîtes à Pétri, qui ont pour avantage d'être issues de données réelles, mais peu pratiques car empêchent toutes formes de prédictions ou d'expérimentations à large échelle.

- Les premiers modèles mathématiques reposent sur la répartition des individus selon divers états : sains, infectés, morts... et déterminent l'évolution des groupes avec des suites ou des équations différentielles couplées. L'apparition de paramètres et de l'immédiateté des résultats permet d'interpréter l'influence de certains facteurs. Cependant les modèles sont limités par l'absence d'individualité (3).
- Les automates cellulaires et les réseaux ont résolu la nécessité de comportements à plus petite échelle, pour observer des phénomènes d'émergences, comportements du collectif issus des seules interactions entre agents. La combinaison d'actions sans relation peut faire émerger une réaction sur le groupe dans son ensemble. Néanmoins, dans ces deux modèles, l'intégration des interactions entre individus est simpliste et très éloignée de la réalité (4).
- Enfin, grâce à la montée en puissance des capacités de calcul des ordinateurs, il est maintenant possible de reconstruire un environnement peuplé de milliers d'agents, pouvant librement se déplacer dans celui-ci et interagir à la fois entre eux et avec l'environnement. Ce sont les modèles multi-agents (agent based model ou ABM), les plus réalistes peuvent reconstruire jusqu'à des villes complètes, avec la détermination du type des lieux visités, des trajets effectués et des horaires de ceux-ci (5).

Les ABM se prêtent d'autant plus à l'étude d'émergences car chaque individu possède une volonté propre. Celle-ci est adaptative et a l'opportunité d'être modifiée au cours de la simulation, comme nous avons eu à changer notre comportement individuel après les annonces gouvernementales de mars 2020. Ainsi s'offre à nous l'étude des mesures préventives (6).

Les mesures préventives sont variées, la première est d'informer la population de l'apparition d'une vague de contagion, par la suite la population est invitée à se protéger. Les gestes barrières que sont par exemple le lavage régulier des mains, l'usage de mouchoirs à usage unique, ou le port du masque ont des actions concrètes sur la transmission d'un microbe dans un environnement. Mais aujourd'hui des mesures d'autant plus restrictives ont été prises, comme la distanciation sociale, le couvre-feu, et le confinement (7). Ces règles sont une réponse logique selon le bon sens, si les gens limitent leurs interactions, les périodes et l'espace où les maladies peuvent se développer sont diminués. Cependant, il convient d'évaluer l'efficacité de ces mesures, car leur nature contraignante suscite de nombreux débats.

Pour construire un ABM répondant au mieux à l'étude de ces mesures, et dont les résultats sont exploitables et proches de la réalité, il convient de respecter des règles lors de sa conception, et d'être exhaustif, notamment pour la structure de l'environnement et des agents, et pour l'ensemble des interactions possibles (8).

## **Problématique retenue**

Au travers d'un modèle multi-agents que l'on va compliquer progressivement pour obtenir un univers tenant compte de différents particularismes, on s'intéresse à simuler les mesures de prévention, à observer les effets de leur accumulation, de l'instant de leur instauration et de leur respect, pour jauger l'efficacité des réponses.

## Objectifs du TIPE

1. Établir la conception d'un modèle multi-agents visant à représenter une population d'êtres humains, pour assurer la cohérence et la fidélité de celui-ci avec notre vrai comportement.
2. Implémenter informatiquement ce modèle et les comportements vis à vis de chaque mesure.
3. Mettre en place une représentation graphique en direct de l'évolution afin d'observer les possibles émergences.
4. Simuler plusieurs scénarios en les répétant dans le but de former un lot de données.
5. Interpréter les résultats au regard des statistiques rendues disponibles par les organisations de santé, pour questionner les limites de ce modèle.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] ARNAUD FONTANET : Comprendre l'épidémiologie : *The Conversation* 29 janvier 2019, <https://theconversation.com/comprendre-lepidemiologie-110721>
- [2] COMITÉ ÉDITORIAL PÉDAGOGIQUE DE L'UVMAF : Support de cours "l'épidémiologie" : <http://campus.cerimes.fr/maieutique/UE-sante-publique/epidemiologie/site/html/cours.pdf>
- [3] ANTOINE HOLLARD : Évolution d'une épidémie : *Bulletin de l'Union des professeurs de classes préparatoires scientifiques* n°271 2020
- [4] JOE FOX, YOUJIN SHIN ET ARMAND EMAMDJOMEH : How epidemics like covid-19 end (and how to end them faster) : *The Washington Post* 19 février 2020, <https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/health/coronavirus-how-epidemics-spread-and-end/?tid=graphics-story>
- [5] Et si la variole frappait Paris : *Pour la science* N°330 avril 2005
- [6] HARRY STEVENS : Why outbreaks like coronavirus spread exponentially, and how to “flatten the curve” : *The Washington Post* 14 mars 2020, <https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/world/corona-simulator/>
- [7] SANTÉ PUBLIQUE FRANCE : Informations relatives aux mesures de préventions : <https://www.santepubliquefrance.fr>
- [8] HIROKI SAYAMA : Introduction to the modeling and analysis of complex systems : <https://batch.libretexts.org/print/Finished/math-7767/Full.pdf>

## DOT

- [1] Lecture du livre "Introduction to the modeling and analysis of complex systems" de Hiroki Sayama (8)
- [2] Teste des modèles SIR et automate cellulaire en python
- [3] Choix de faire un modèle multi-agents et première version en python
- [4] Transition vers le langage Swift : apprentissage du langage et réorganisation du code
- [5] Manipulations et expérimentations avec le modèle, suivi de corrections pour assurer la cohérence
- [6] Recueil des statistiques et comparaisons des jeux de données

