

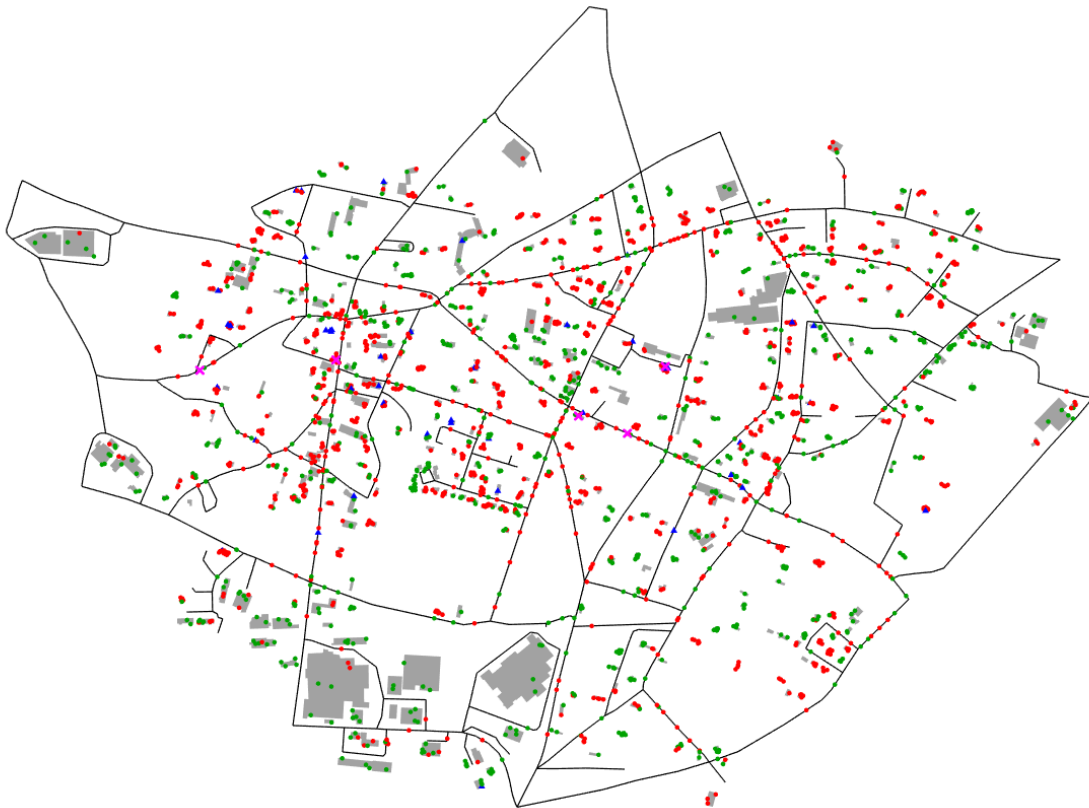
SYSTEMES MULTI-AGENTS

---

Modèle de propagation de la grippe

---

SIMULATION GAMA



Rand ASSWAD  
Génie Mathématique

# 1 Modèle étudié

Nous proposons d'étudier la propagation de la grippe dans la ville de Luneray pendant la fête du village à l'aide de l'environnement de développement de simulations GAMA.

Le modèle de base est composé de deux types d'agents humains : *personnes* (*people*) et *médecins* (*doctors*). Ces agents se déplacent sur le réseau routier de Luneray entre les bâtiments définis par les deux types d'agents *route* (*road*) et *bâtiment* (*building*) au sens de l'environnement GAMA.

## 1.1 Hypothèses et conditions initiales

La population de Luneray compte selon l'institut national de la statistique et des études économiques 2 248 personnes légales en 2017 [Insee, 2020]. Nous allons donc reprendre ce chiffre dans notre modèle en supposant 5 personnes infectées au départ, et nous allons étudier la propagation de la grippe pendant 14 heures.

Dans un premier temps nous allons étudier le modèle sous les hypothèses suivantes :

- Une personne bouge de son endroit avec une probabilité de 0.01 à une vitesse de 2 – 5 km/h. Elle rentre chez elle si elle est chez un voisin, et rend visite à une autre personne aléatoire sinon.
- Une personne contaminée peut infecter les personnes autour d'elle dans un rayon de 10 mètres avec une probabilité de 0.05.
- Un médecin se balade aléatoirement jusqu'à ce qu'il trouve une personne contaminée dans un rayon de 15 mètres, elle donne à cette personne un médicament qui la rend immunisée sans se rapprocher d'elle de plus que 5 mètres.
- Un médecin possède 20 médicaments sur lui, et rentre à sa pharmacie pour en reprendre quand il en a plus, en supposant le stock à la pharmacie est infini.
- Un médecin n'oublie pas les personnes infectées lorsqu'il n'a pas de médicaments sur lui, il retourne vers ces personnes dès qu'il restock à la pharmacie.
- Un médecin se déplace à une vitesse de 8 km/h.

## 2 L'agent doctor

L'agent **doctor** est un agent cognitif suivant l'architecture **BDI** (Belief-Desire-Intention) de [Bratman, 1987]. Dans l'environnement GAMA, cela se définit par des prédicats logiques.

Nous allons définir l'architecture de l'agent **doctor** de la manière suivante :

- **Beliefs (croyances)** : l'information que l'agent dispose de son environnement. Le médecin sais s'il a des médicaments ou pas par le prédicat **has medicine**. De plus, il est capable de savoir si *telle personne* est malade par le prédicat **sick agent**.
- **Desires (désirs)** : les objectifs intermédiaires de l'agent. Le médecin a pour désir initiale de *se balader* afin de trouver des personnes malades ce qui se définit par le prédicat **find sick**. Une fois le médecin acquiert la croyance **sick agent** il développe le désir de soigner cette personne. Dernièrement, dans le cas où le médecin croit qu'il n'a plus de médicaments sur lui, il obtient le désir d'en avoir.
- **Intentions** : ce que l'agent choisit de faire. L'intention actuel permet de déterminer le plan d'action de l'agent. Quand l'agent a seulement l'intention de trouver des personnes malade il se balade aléatoirement, quand il a l'intention de soigner une personne malade *spécifique* il le fait s'il possède des médicaments, sinon il mets cette intention en pause en passant en priorité l'intention de chercher des médicaments.

## 2.1 Première simulation

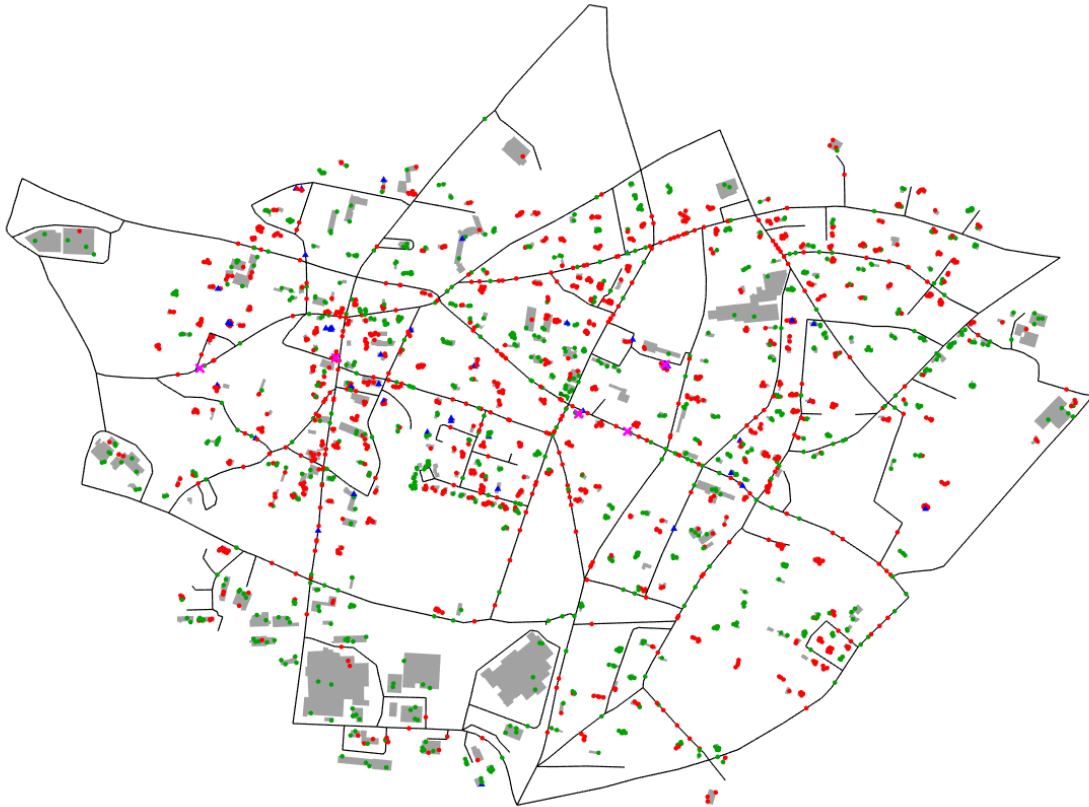


FIGURE 1 – La simulation après 2h44 après le départ

On voit sur la figure 1 l'état du village après 2 heures et 44 minutes de simulation, on aperçoit 4 représentations d'agents.

- **Personne susceptible** : une personne non-infectée et non-immunisée, représentée par un cercle vert.
- **Personne infectée** : représentée par un cercle rouge.
- **Personne immunisée** : représentée par un triangle bleu.
- **Médecin** : représenté par une croix de couleur magenta.

En poursuivant la même simulation nous obtenons une graphique représentant l'évolution de la grippe sur 14 heures 2.

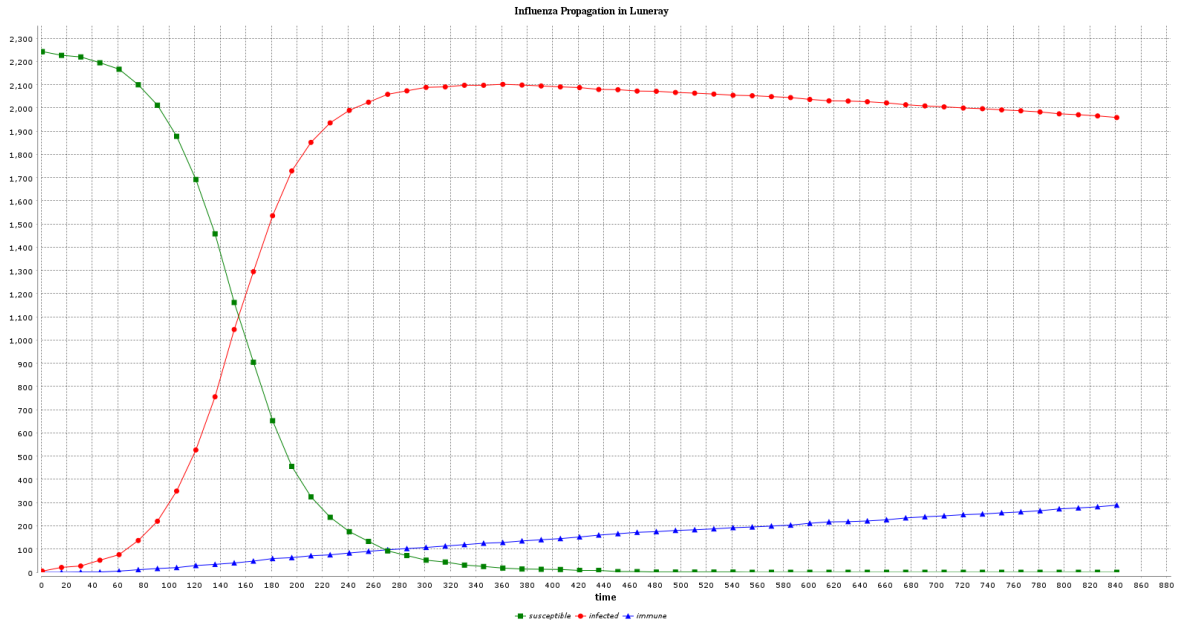


FIGURE 2 – Courbes d'évolution de l'épidémie avec les hypothèses initiales

Dans cette première simulation nous remarquons 3 périodes/régions différentes.

1. Une croissance exponentielle initiale, correspondante à une propagation d'épidémie non-contrôlée, similaire à celle vu par les courbes du modèle **SIR** de Kermack-McKendrick.
2. Un point d'inflexion après lequel la croissance de la propagation diminue significativement, due au fait que le nombre d'infectés se rapproche du nombre total de la population, aussi analogue aux courbes SIR.
3. Une baisse constante à pente faible de nombre d'infectés, grâce aux médicaments distribués par les médecins.

En conclusion, la propagation n'est pas suffisamment ralentie comme la majorité de la population est infectée à la fin de la fête des voisins (88%) selon le modèle.

## 2.2 Vaccination contre la grippe

Il est important de prendre en compte dans cette simulation le nombre de personnes vaccinées préalablement contre la grippe, nous avons trouvé que 11.1% des français le sont [Vaux et al., 2011]. Si on fait l'hypothèse que ce chiffre s'appliquent aussi aux habitants de Luneray nous avons donc initialement  $11.1\% \times 2248 \approx 250$ .

Cet ajustement du modèle ne change pas particulièrement les formes de nos courbes, mais elle baisse le nombre d'infectés d'un taux similaire à celui du nombre des vaccinés. Le pourcentage des infectés devient en moyenne 78%.

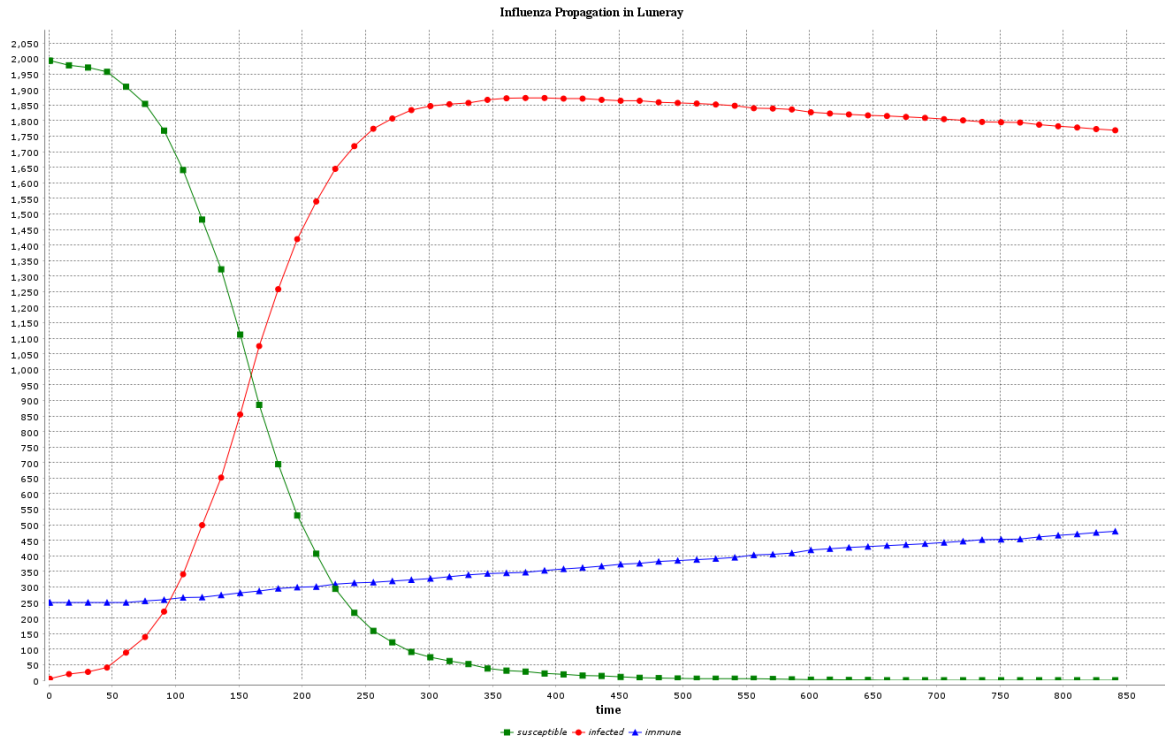


FIGURE 3 – Courbes d'évolution de l'épidémie avec 11.1% de vaccinés initialement

### 2.3 Augmentation de médicaments disponibles

Il est raisonnable de supposer qu'un médecin puisse porter plus que 20 médicaments en se déplaçant dans le village. On pourra augmenter ce chiffre significativement afin de limiter les visites des médecins aux pharmacies. Nous pouvons justifier ce choix en diminuant la vitesse de déplacement des médecins en supposant que la vitesse d'un médecin est entre 6 et 8 km/h.

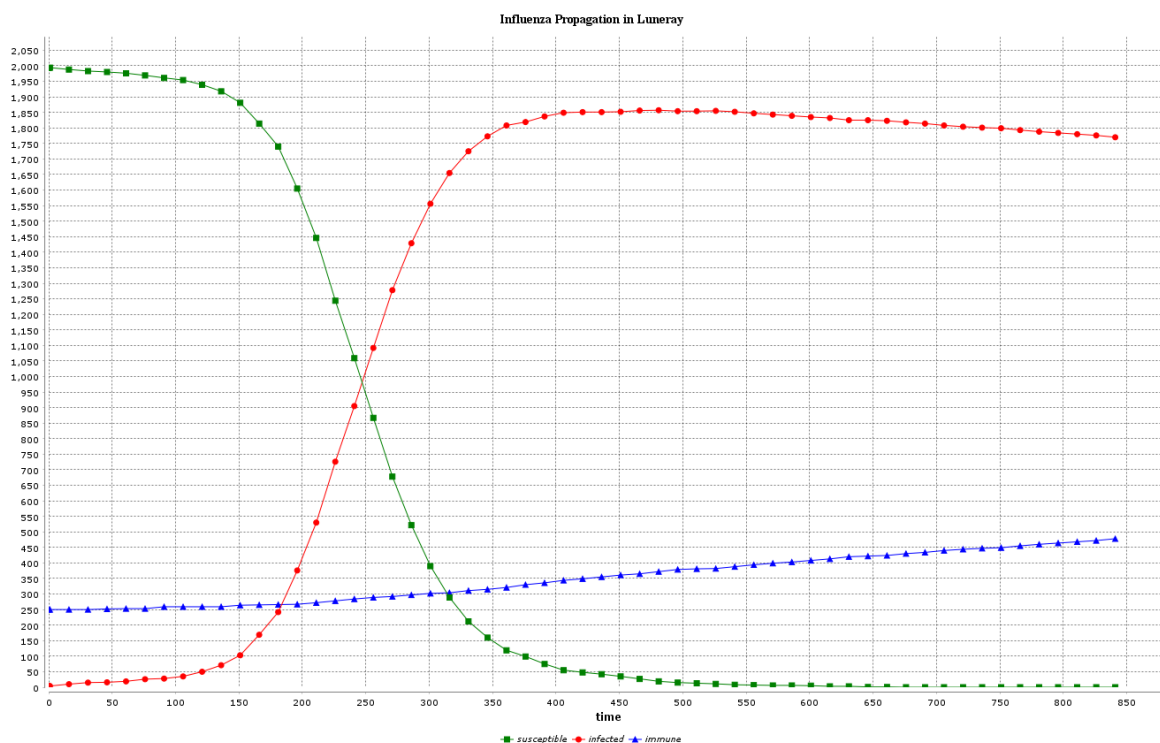


FIGURE 4 – Courbes d'évolution de l'épidémie en augmentant les médicaments par médecin à 300

En passant à 300 médicaments porté par chaque médecin, étend la première région de la courbe avant que toute la population susceptible soit contaminée. En revanche, le taux d'infection à la fin de la journée reste le même (en moyenne).

## 2.4 Renforts de médecins

Dans une situation critique, la mairie pourrait envisager plus de médecins auprès de l'état ou des organisations humanitaires. En effet, si la grippe est concentrée dans la région Normandie par exemple, alors que les médecins normands seront occupés, des médecins de l'est par exemple pourront intervenir pendant cette fête.

Nous avons relancé la simulation avec 10, 20 et 50 médecins nous avons obtenus des taux d'infections de 70%, 58% et 38% respectivement. Cette mesure est ainsi la plus effective dans le cadre de ce modèle.

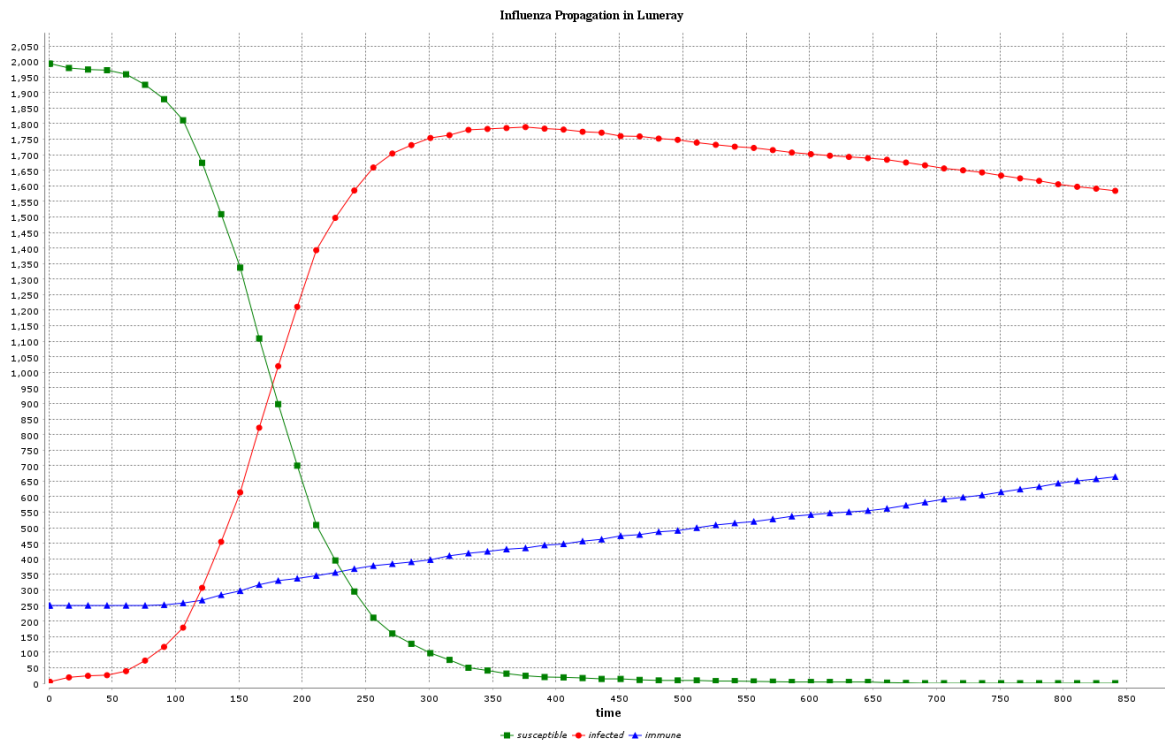


FIGURE 5 – Courbes d'évolution de l'épidémie avec 10 agents doctor

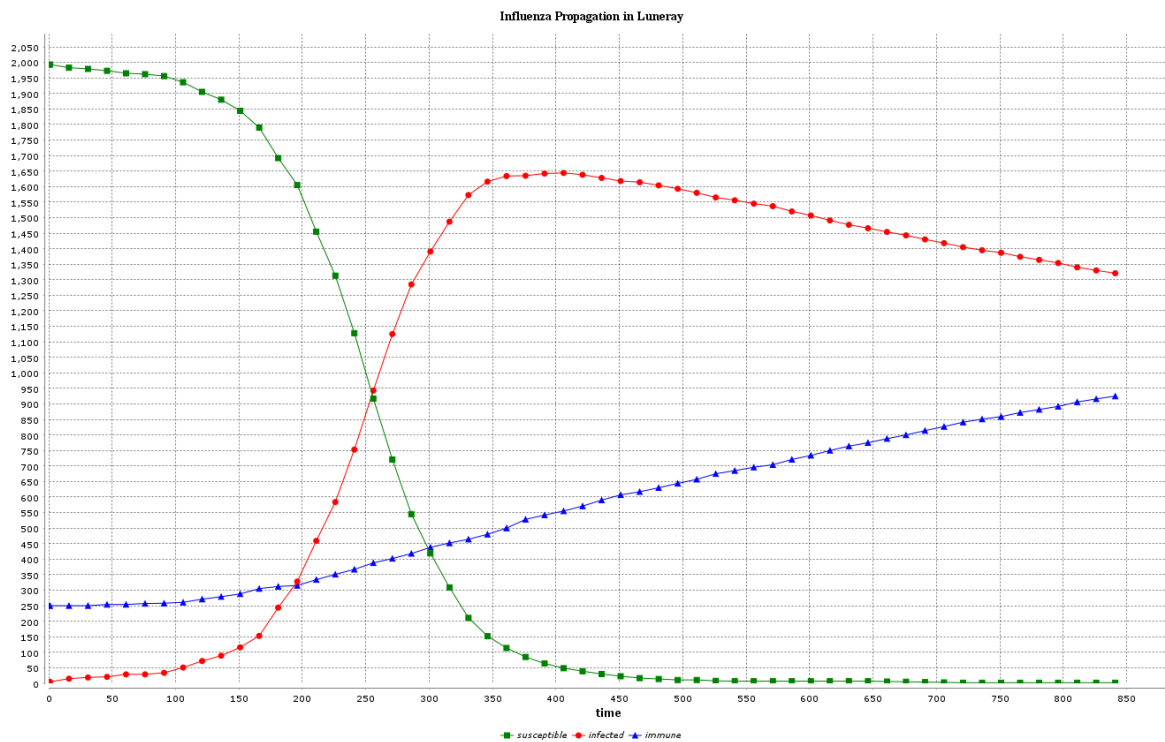
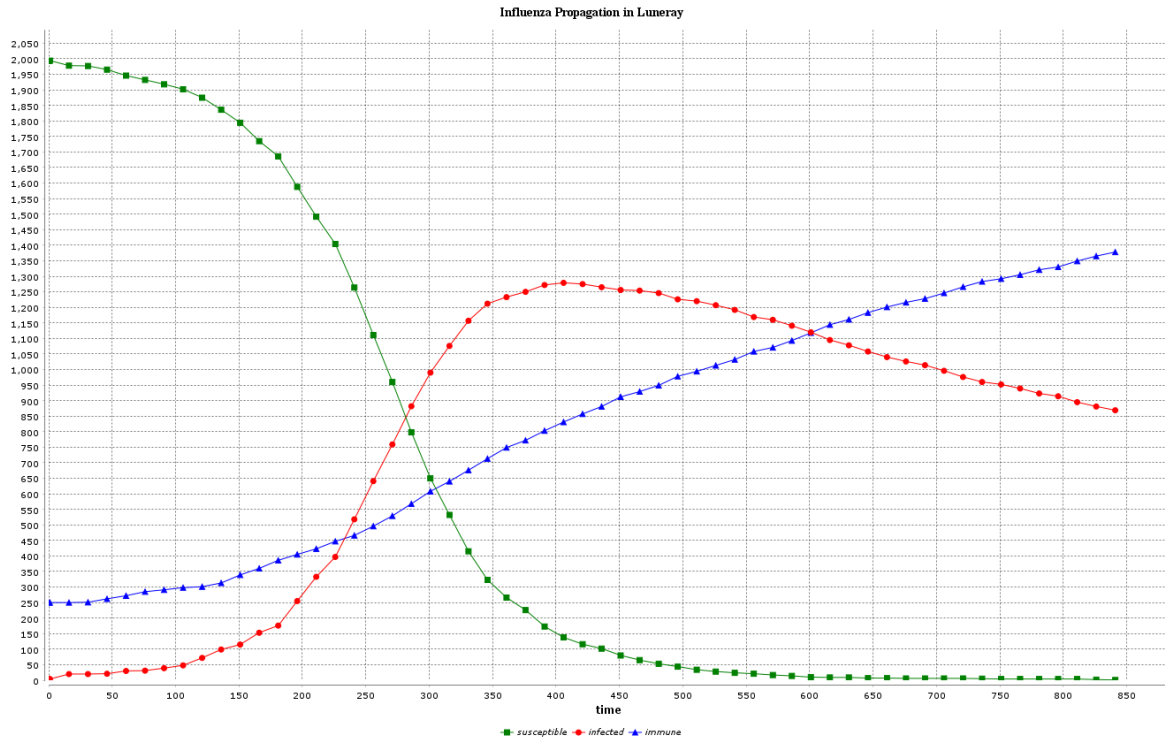


FIGURE 6 – Courbes d'évolution de l'épidémie avec 20 agents doctor

FIGURE 7 – Courbes d'évolution de l'épidémie avec 50 agents `doctor`

### 3 Analyse du modèle

Nous avons vu des simulations avec des paramètres différents du modèle proposé. Néanmoins, nous pouvons analyser ce modèle et le critiquer d'un point de vu logique.

Le modèle est pessimiste car selon la page Wikipédia de la fête des voisins indique que seulement 8.5 millions personnes en France ont participé dans cette fête en 2016 soit 13.3% de la population française, alors que le modèle suppose que le taux de participation à Luneray est de 100%.

Nous proposons ainsi un modèle modifié qui prend en compte un taux de participation de 30%, en prenant compte du fait que la participation dans ce genre d'événements est généralement plus élevé dans les villages que la moyenne nationale.

Nous avons effectué un test avec 10 médecins portant 200 médicaments en retenant les mêmes hypothèses et modifications étudiés dans la première section, nous obtenons ainsi un taux d'infection de 55%.



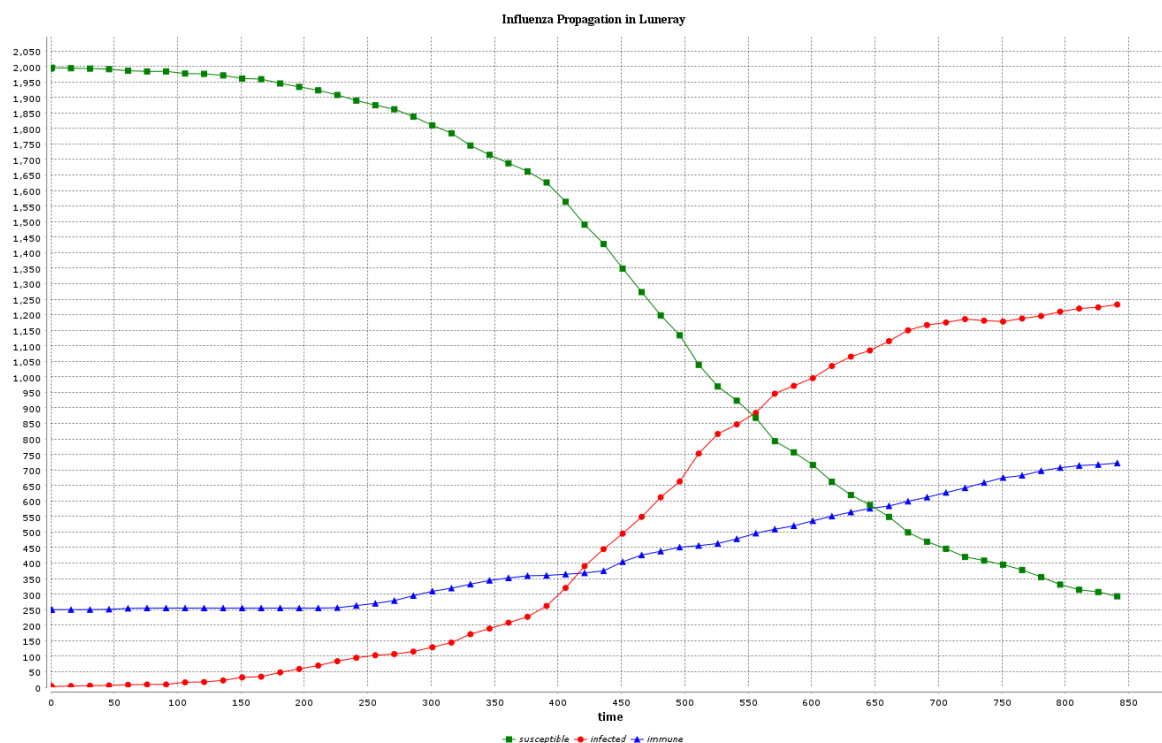


FIGURE 8 – Courbes d'évolution de l'épidémie avec un taux de participation de 30%

Nous pouvons donc dire, que malgré le caractère exponentiel de la propagation de la grippe théorique-ment, nous ne pouvons pas prévoir des chiffres sans un taux de participation de Luneray même.

D'autre part, l'étude ne fait aucune distinction sur la population alors que la grippe ne porte pas les mêmes effets sur les différentes tranches d'âges. De plus, les informations sur la vaccination sont données généralement par tranche d'âge au niveau national.

En conclusion, le modèle permet d'obtenir une idée globale de l'épidémie, mais si la mairie souhaite adopter une simulation de ce type dans son processus de décision, il est indispensable d'obtenir des informations spécifiques sur la population de Luneray. Notamment, les informations de vaccinations des habitants et les taux de participations précédents dans le village.

Ayant ces informations à disposition, la simulation est adaptée, malgré sa simplicité, à aider la mairie à prendre une décision concernant le maintien de la fête du village (partiellement ou entièrement).

## Références

- [Bratman, 1987] Bratman, M. (1987). *Intention, Plans, and Practical Reason*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- [Insee, 2020] Insee (2020). Populations légales 2017 - commune de luneray (76400).
- [Vaux et al., 2011] Vaux, S., Cauteren, D. V., Guthmann, J.-P., Strat, Y. L., Vaillant, V., de Valk, H., and Lévy-Bruhl, D. (2011). Influenza vaccination coverage against seasonal and pandemic influenza and their determinants in france : a cross-sectional survey.