

# Model of the spread of a disease in a population of mobile agents

NIDDAM Benjamin

November 30, 2021

# Contents

A	Introduction . . . . .	2
B	Model presentation . . . . .	2
	B.1 Variables definition . . . . .	2
	B.2 Agents presentation . . . . .	2
	B.3 interactions definition . . . . .	2
C	Experiments, results and limitations . . . . .	4
	C.1 initial state . . . . .	4
	C.2 Confinement . . . . .	5
	C.3 Respect des gestes barrières . . . . .	8
	C.4 Vaccination . . . . .	11
	C.5 Combinaisons de méthodes . . . . .	14
D	Conclusion . . . . .	15

## A Introduction

Après la découverte d'une nouvelle maladie, on cherche à étudier son comportement sur une population d'agents mobiles. Dans un second temps, on étudiera différentes stratégies pour endiguer sa propagation. On veut donc, à la fin, connaître le ou les moyens les plus efficaces pour éviter que la maladie ne se propage dans la population.

## B Model presentation

### B.1 Variables definition

La première étape consiste à définir les différents paramètres de la simulation. Nous aurons donc:

- une durée de simulation
- un nombre d'agents
- un nombre d'agents contaminés au temps zéro
- un degrés de confinement de la population
- un degrés de respect des gestes barrières

### B.2 Agents presentation

Nos agents sont représentés par des cercles de coordonnées  $(x, y)$  et de rayon  $(r)$ . Ils possèdent un état de contamination booléen, une probabilité de contamination  $(p)$ , un état de guérison booléen et un état d'immunité boolean. Ces états sont modifiés par les interactions entre les agents et des durées définies qui cherchent à être les plus proches de la réalité. Les agents évoluent dans un monde carré de dimension  $(w, h)$  et sont placés aléatoirement dans ce monde avec une vitesse  $(vx, vy)$ , elle aussi aléatoire.

### B.3 interactions definition

Il n'existe qu'un seul type d'interaction entre nos agents. C'est l'interaction de contagion. Lorsqu'un agent est contaminé, il peut infecter d'autres agents mais ne peut plus être contaminé. Pour qu'un agent sain se fasse contaminé, il doit respecter certaines conditions. Il doit être un rayon de contamination  $(ir)$  défini. Il doit être sain, ne pas être immunisé et ne pas être vacciné.

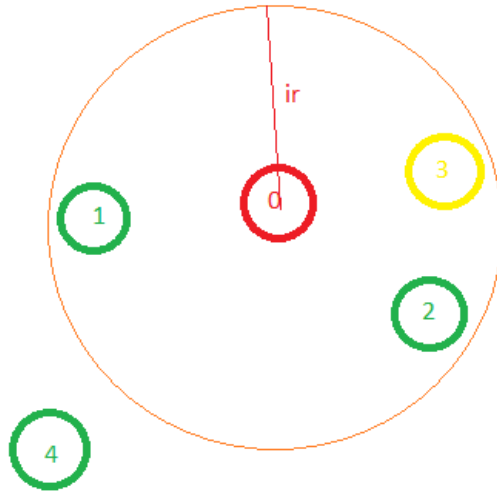


Figure 1: Interaction between agents

In this example, only the agents in the infection radius ( $ir$ ) can be infected, only if they are not immune (yellow) or infected (red).

## C Experiments, results and limitations

### C.1 initial state

In all of our simulations, we used a number of agents fixed to 1000, a number of contaminated agents fixed to 1 and 100 and a 3.5% contamination degree. Before starting the tests to contain the disease, we simulated the the evolution of the infecteds agents without any intervention. Here are the results:

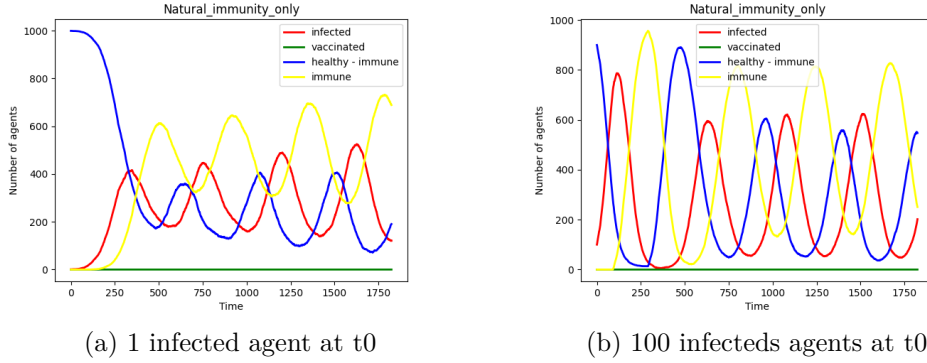


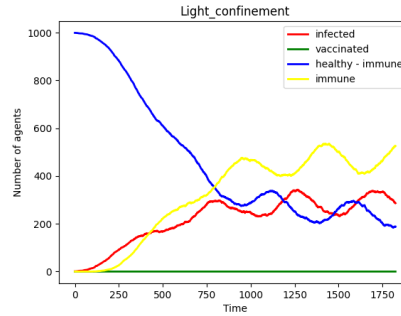
Figure 2: Graphic representations of the evolution of the condition of the population as a function of time

The infecteds evolution is represented by a succession of contamination and healing waves that spread until the end of the simulation. These waves are due to the fact that our agents gain a temporary immunity after each healing.

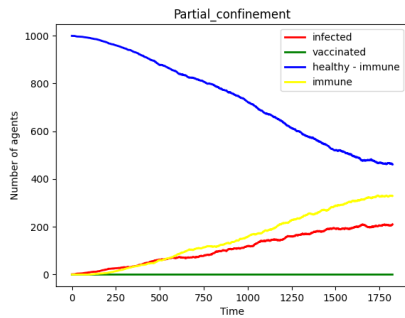
There are various expériences that we have done trying to contain or eradicate the disease. For each of these experiments, we simulated it four times with the same initial conditions and used the average of the results as a representative result to reduce the uncertainty due to randomness.

## C.2 Confinement

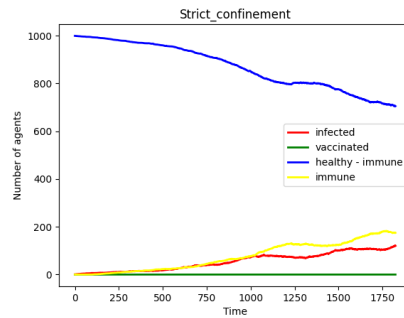
Comme première expérience nous avons décidé de confiner la population. Pour ce faire nous divisons les valeurs de  $v_x$  et  $v_y$  par deux, puis par trois et enfin par cinq. Ce qui nous ramène à trois tests que nous appelons respectivement "confinement léger", "confinement moyen" et "confinement strict" par rapport à leur taux de limitation. Ce taux fera baisser la possibilité de déplacement des agents jusqu'à la quasi-immobilité lorsque ce dernier vaut cinq. Ceci entraîne donc une réduction des interactions entre les agents qui devrait limiter la dispersion de la maladie. On veut savoir si cette réduction est suffisante pour éradiquer la maladie. Et si oui, quel taux faut-il mettre en place et sûr combien de temps. Nous avons donc réalisé les simulations suivantes:



(a) Light confinement



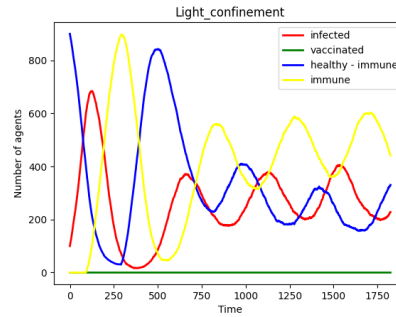
(b) Basic confinement



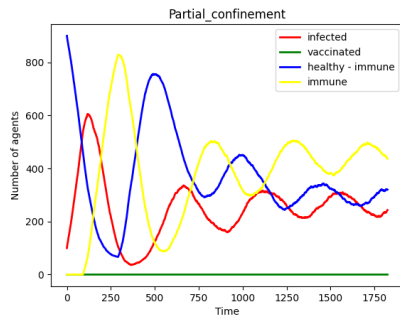
(c) Heavy confinement

Figure 3: Représentations graphique de l'évolution de l'état de la population en fonction du taux de confinement

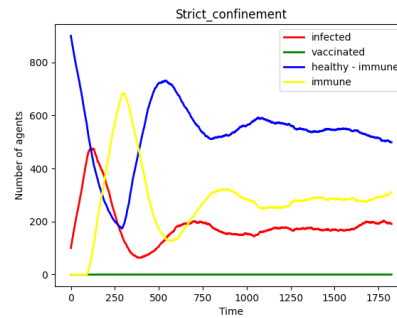
Les graphiques ci-dessus représentent l'évolution de l'état des agents au cours de la simulation (temps en jour) en fonction du taux de confinement. On observe que la méthode de confinement est une façon très efficace de ralentir le déplacement de la maladie au sein de la population. On le constate clairement sur les graphiques du confinement léger et moyen. En effet, le pic de contamination initial est beaucoup moins important que celui de la simulation sans restrictions. Enfin, en se basant sur la courbe du confinement stricte, on confirme que cette méthode, malgré un degré très important de limitations, n'est pas suffisante pour éradiquer la maladie. On peut donc envisager de combiner cette dernière avec une autre méthode. Mais avant cela, nous avons testé si mettre en place un confinement de la population alors que l'épidémie s'est déjà propagée. Nous obtenons donc les résultats suivants:



(a) Light confinement



(b) Basic confinement



(c) Heavy confinement

Figure 4: Représentations graphique de l'évolution de l'état de la population en fonction du taux de confinement

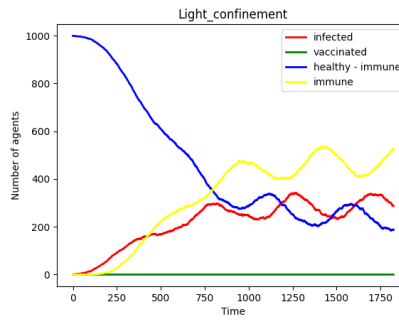
Grace à ce deuxième set de simulations, il apparait que lorsque le confinement est décrété dès les premiers cas, on remarque qu'il n'y a aucun pic de contamination quelque soit le taux de confinement. En comparaison avec

les simulation ou le confinement débute avec 10% de la population infectée, dans lesquelles le confinement ne permet que de diminuer le premier pic de contamination. Sur le long terme le confinement quelque soit soit sont inensité, permet de stabiliser le nombre d'infectés journalier.

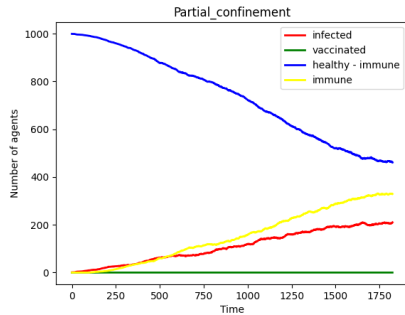


### C.3 Respect des gestes barrières

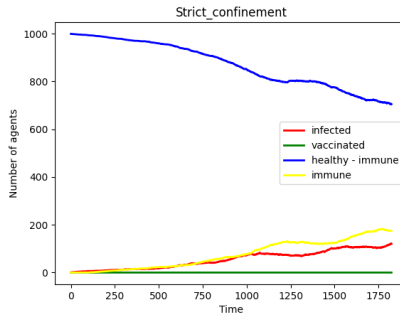
Dans un deuxième temps, nous avons décidé de mettre en place un respect des gestes barrières. Cette méthode cherche à réduire la probabilité qu'un agent contaminé transmette la maladie à un autre agent lors de leur rencontre. Pour ce faire, nous avons mis en place trois intensités: "Basics barrier gestures", "Mediums barrier gestures" et "Heavys barrier gestures" qui réduisent par deux, trois et cinq la probabilité d'infection. Dans ce cas, on veut savoir jusqu'à quel niveau les gestes barrières peuvent ralentir la maladie.



(a) Light confinement



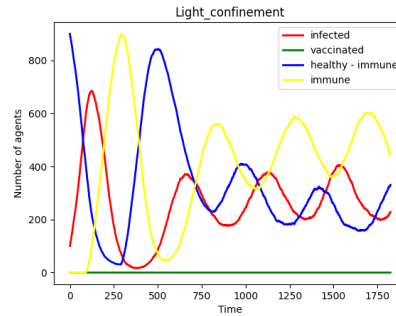
(b) Basic confinement



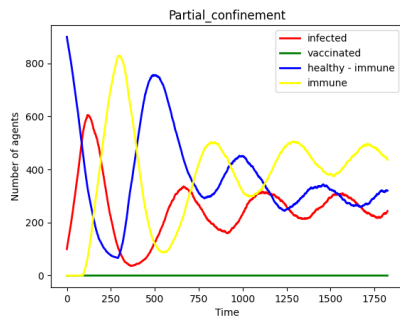
(c) Heavy confinement

Figure 5: Représentations graphique de l'évolution de l'état de la population en fonction du taux de gestes barrières

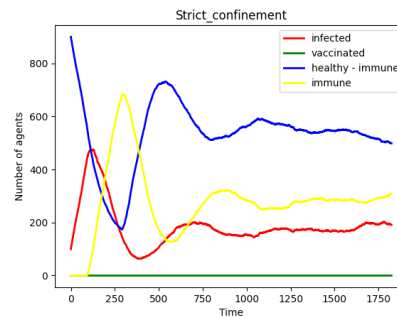
Ici, nous représentons l'évolution de l'état des agents au fil du temps (en jour) en fonction du degré de respect de la population pour les gestes barrières. On voit clairement que les gestes barrières sont très efficaces pour réduire la transmission de la maladie même si les agents ne les suivent pas de manière stricte comme le montre le graphique "gestes barrières basiques". Grace au courbes, il est clair que les gestes barrières sont une très bonne pratique pour réduire la transmission de la maladie. De plus, comme le montre le graphique "gestes barrières strictes", si respectés sérieusement et dès les premiers jours, une épidémie peut facilement être évitée. Mais on peut aussi se demander si cette méthode serait aussi utile, si mise en place alors que l'épidémie est déjà en cours. Voici donc les résultats obtenus pour ce cas:



(a) Light confinement



(b) Basic confinement



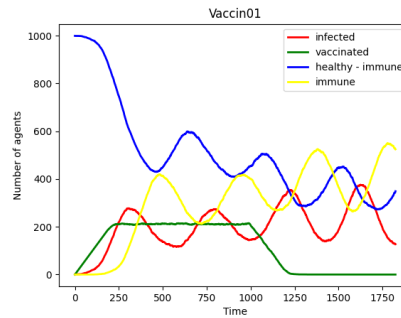
(c) Heavy confinement

Figure 6: Représentations graphique de l'évolution de l'état de la population en fonction du taux de confinement

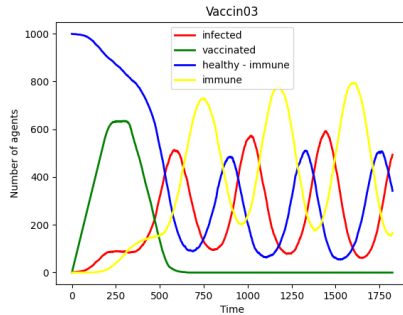
Dans le cas présent, le développement de la maladie est atténué par les gestes barrières. Cependant, comme pour l'expérience précédente, à part lorsque les gestes barrières sont fortement respectés, l'épidémie n'est pas évitée.

## C.4 Vaccination

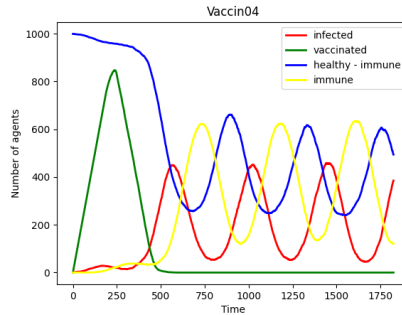
Nous avons ensuite instauré un cycle de vaccination. En effet, dans la simulation, chaque jour, nous vaccinons un nombre d'agents définis au préalable. Le vaccin donne une immunité plus longue que celle obtenue naturellement. Au sein même de cette expérience nous avons pu tester plusieurs choses. Dans un premier temps, les agents n'effectuent qu'une seule vaccination qui les immunisent un certain temps mais finissent par attraper la maladie à la fin de leur période de vaccination.



(a) 1 vaccination par jour



(b) 3 vaccination par jour



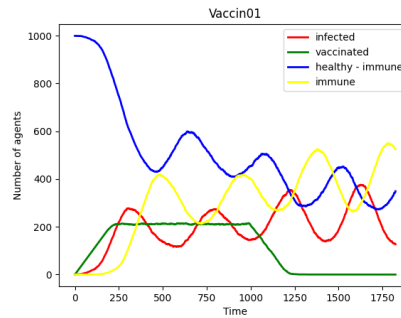
(c) 4 vaccination par jour

Figure 7: Représentations graphique de l'évolution de l'état de la population en fonction du nombre de nouveaux vaccinés par jours

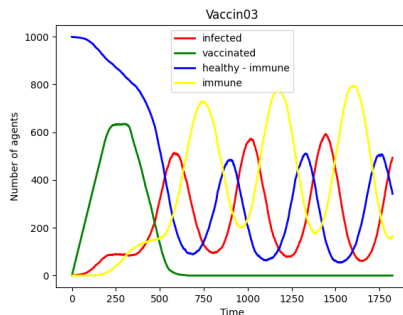
Ces graphiques représentent l'évolution de l'état de la population en fonction du temps (en jours) pour un nombre de personnes qui se font vacciner chaque jour. On observe que le fait d'avoir une partie de la population vaccinée est une bonne pratique pour réduire la transmission de la maladie. En effet, le pic de vaccination permet de fortement retarder le pic de contamination initial.

De plus, on peut voir que nombre de personnes qui se vaccinent chaque jour est un facteur important pour retarder le début de l'épidémie.

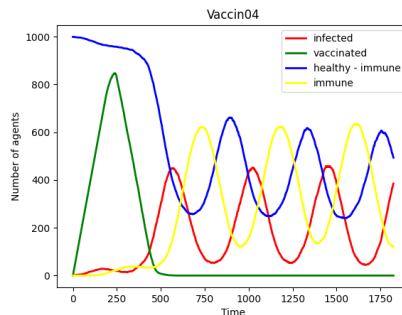
Par la suite, nous avons implémenté les rappels de vaccins. Nous revaccinons les agents dès lors que leur vaccin ne fait plus effet. On regarde donc le seuil minimal de personnes à vacciner par jour pour que la maladie soit éradiquée.



(a) 1 vaccination par jour



(b) 3 vaccination par jour

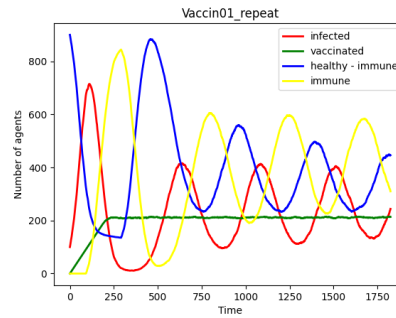


(c) 4 vaccination par jour

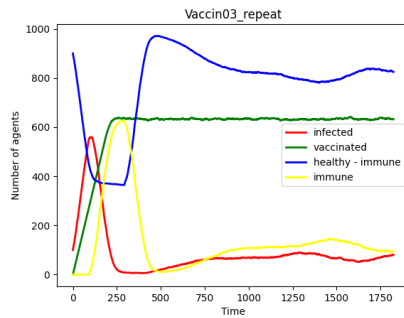
Figure 8: Représentations graphique de l'évolution de l'état de la population en fonction du nombre de nouveaux vaccinés par jours

Ces graphiques montrant l'évolution de l'état de la population en fonction du temps (en jours) pour un nombre de personnes qui se font vacciner chaque jour démontrent bien que se faire vacciner régulièrement permet de très facilement éradiquer la maladie. En effet, on observe que dès trois personnes vaccinées supplémentaires par jour, la maladie ne dépasse pas les 15% d'infectés. Et qu'il suffit de vacciner quatres personnes par jour pour éradiquer la maladie au bout de deux ans pour une population de 1000 agents.

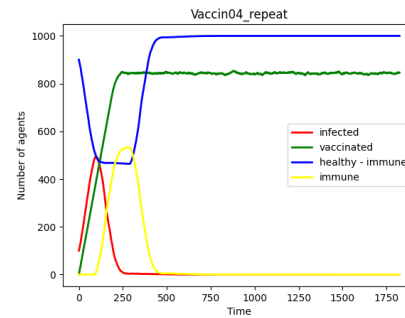
Nous avons réitéré l'expérience "vaccin" mais avec un nombre d'agents contaminés à 100 à  $t_0$  pour simuler une épidémie en cours.



(a) 1 vaccination par jour



(b) 3 vaccination par jour



(c) 4 vaccination par jour

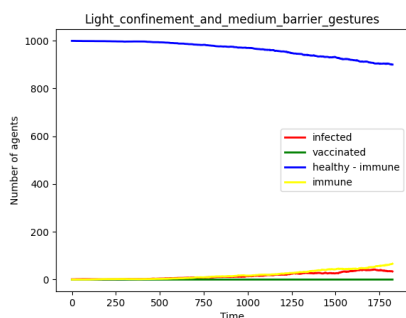
Figure 9: Représentations graphique de l'évolution de l'état de la population en fonction du nombre de nouveaux vaccinés par jours

On arrive aux mêmes conclusions qu'à l'expérience précédente, le vaccin est la meilleure pratique pour éradiquer la maladie et il faut vacciner au moins trois personnes par jour pour que les résultats soient réellement significatifs.

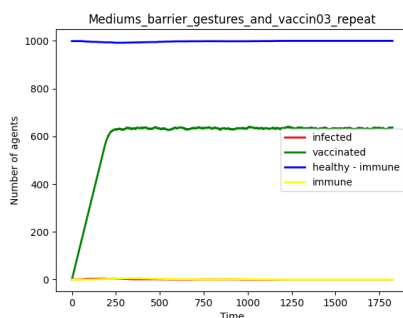
## C.5 Combinaisons de méthodes

Enfin, après avoir présenté les différentes facon d'entraver la propagation d'une maladie au sein d'une population, nous avons décidé de tester différentes combinaisons de méthodes. Nous présentons donc deux d'entre elles :

- Light confinement and medium barrier gestures
- Mediums barrier gestures and vaccin 3 people per day with vaccin booster



(a) Light confinement and medium barrier gestures



(b) Mediums barrier gestures and vaccin 3 people per day with vaccin booster

Figure 10: Représentations graphique de l'évolution de l'état de la population en fonction de la combinaison de méthodes

Étant donné que les méthodes combinées ici ont fait leurs preuves individuellement, nous avons donc pu voir que les résultats sont significatifs. Cependant, pour le light confinement and le medium barrier gestures, on voit que la maladie est plus difficile à éradiquer. Ces deux méthodes étant plus utilisées pour ralentir la propagation que pour l'éradiquer, on observe que la maladie progresse tout de même. Tandis que Mediums barrier gestures and vaccin 3 people per day with vaccin booster ne permet même pas à la maladie d'évoluer.

## D Conclusion

Après cette batterie de tests, nous sommes en mesure de définir la façon la plus efficace de contrer cette nouvelle maladie. Tout d'abord, si cette dernière est remarquée suffisamment tôt, un confinement light avec une population qui fait attention aux gestes de barrière de base, permettrait de fortement ralentir sa propagation en attendant le développement d'un vaccin qui permettrait de l'éradiquer .