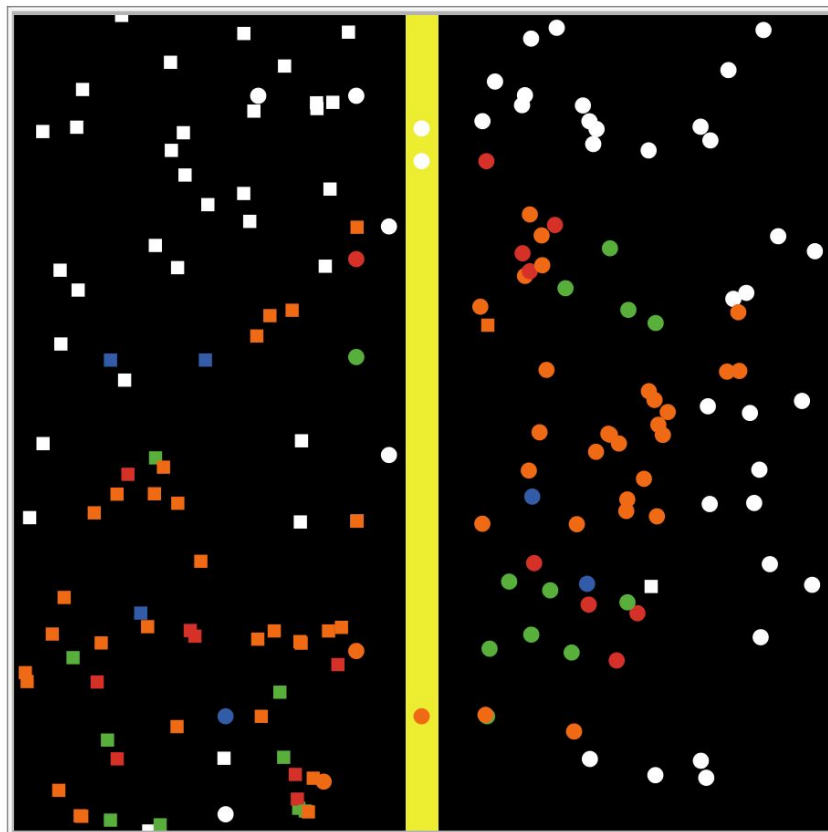


RAPPORT DE PROJET
MIF16 - TECHNIQUE D'IA

PROGRAMMATION SOUS NETLOGO

L'INFLUENCE D'UNE FRONTIÈRE DANS LA PROPAGATION D'UNE ÉPIDÉMIE



INTRODUCTION	2
1 FONCTIONNALITÉS PRÉSENTES	3
1.1 LA FRONTIÈRE	3
1.2 LES RÉINFECTIONS	3
1.3 L'INCUBATION	4
1.4 LES DÉCÈS	4
2 COMPORTEMENTS PRÉSENTS	5
2.1 DÉPLACEMENT D'UN PAYS À L'AUTRE	5
2.2 LA MISE EN PLACE D'UNE QUARANTAINE	5
2.3 L'INTRA-MOBILITÉ	5
3 L'IMPORTANCE DE NOTRE FRONTIÈRE DANS LES SIMULATIONS	6
3.1 UNE FRONTIÈRE QUI SE FERME PLUS OU MOINS TARD	6
3.1.1 Sans fermeture de la frontière	7
3.1.2 Fermeture de la frontière au bout de 5 jours	7
3.1.3 Fermeture de la frontière au bout de 7 jours	8
3.1.4 Conclusions	8
3.2 LA MISE EN PLACE D'UNE QUARANTAINE	9
3.2.1 L'impact au début de la propagation	9
3.2.2 L'impact global de la quarantaine	10
3.2.3 Conclusions	10
CONCLUSION	11

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'UE Techniques d'Intelligence Artificielle, nous avons choisi comme projet "Programmation sous Netlogo". Le sujet nous demandait de partir de la simulation, implémenté par les Professeurs YANG et WILENSKY, epiDEM Basic, en y ajoutant d'autres comportements et d'autres fonctionnalités.

La simulation implémentée par les Professeurs YANG et WILENSKY, permettait de gérer différents paramètres tels que le nombre de personnes présentes au début de la simulation, le pourcentage de chances d'infection, le pourcentage de chance d'être soigné à chaque cycle ainsi que le temps moyen pour être soigné.

Lors de notre travail de recherche, nous avons étudié une autre simulation de ces Professeurs, à savoir epiDEM Travel and Control. Cette simulation mettait en place un système de frontière séparant différentes zones ainsi qu'un système d'"ambulances", contraignant les infectés à être mis en quarantaine.

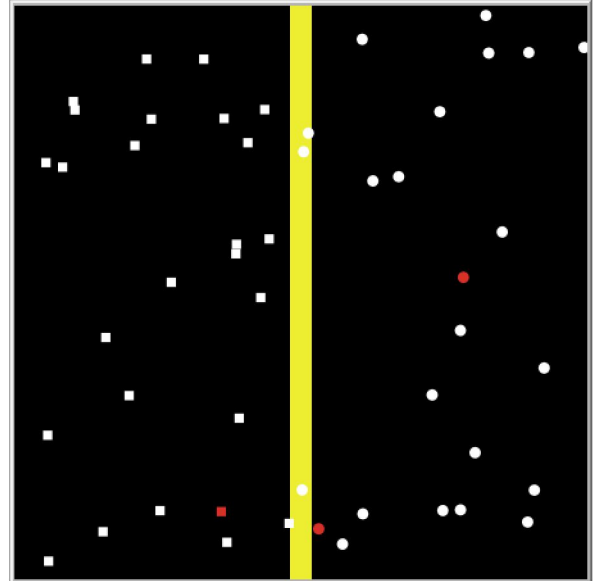
Dans une première partie, nous évoquerons les fonctionnalités présentes dans notre outil de simulation, puis nous verrons les comportements qui sont implémentés. Enfin, dans une dernière partie, nous réaliserons quelques simulation en séparant distinctement deux zones. Notre objectif est de trouver des pistes sur la gestion d'une telle épidémie à l'aide de notre outil.

1 FONCTIONNALITÉS PRÉSENTES

1.1 LA FRONTIÈRE

Nous avons implémenté un système de frontière, en jaune, pour séparer deux zones. Cette fonctionnalité nous permettra dans la partie 3 de simuler différentes propagations d'épidémie. Cette frontière peut être ouverte ou fermée à l'aide d'un bouton "ON/OFF".

Les membres de la région de gauche, légendée avec un L sur les graphes et monitors de l'application, sont sous la forme de carré. Les membres de la région de droite, légendée avec un R sur les graphes et monitors de l'application, sont sous forme de rond. Ce changement de forme permet de suivre en temps réel visuellement la position des membres de chaque zones sur le modèle.



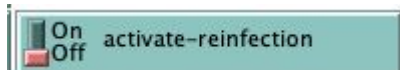
Cette frontière nous permettra lors des simulations de simuler deux pays, tout les deux contaminés, ou non et de constater si la fermeture d'une frontière est efficace ou non. En plus de faire varier la fermeture et l'ouverture au début de la simulation nous pouvons aussi le faire au cours de la simulation. La contamination des deux régions se choisit avant le setup à l'aide du switch ci-contre. Chacun des paramètres présents dans l'application a été rendu paramétrable en fonction du territoire d'origine afin de simuler différentes cultures et différents mode de vie.



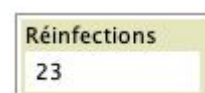
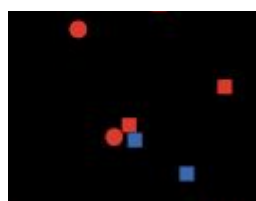
1.2 LES RÉINFECTIONS

Nous avons également implémenté un système de réinfection pour chaque *turtles*. De cette façon, notre outil peut s'adapter sur une simulation d'une maladie qui ne provoque pas d'immunité après avoir été touché par celle-ci.

Cette fonctionnalité peut être activée à l'aide du switch ci-contre. Pour pouvoir suivre visuellement les *turtles* réinfectées nous les avons colorées en bleu, ainsi, à tout moment, nous pouvons suivre qui est infecté et où il se situe, voir capture ci-dessous.



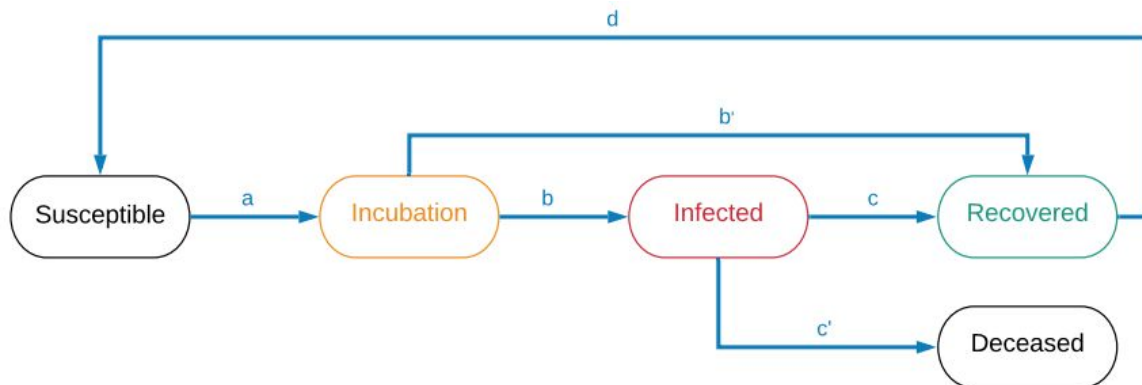
Enfin, en plus du repère visuel pour l'analyste, nous avons créé un monitor qui compte le nombre de réinfections totales qu'il y a eu au cours de la simulation depuis son déclenchement.



1.3 L'INCUBATION

Nous avons créé une période d'incubation lors de la contamination de chaque *turtles*. Cette période permet de simuler le moment où une personne est contaminée mais ne le sait pas encore. Ainsi, lors des simulations avec la mise en place de la quarantaine nos *turtles* infectées continuent de propager le virus avant d'être mise en quarantaine. Cette période d'incubation peut être activée et désactivée à l'aide d'un switch "ON/OFF" mais également allongée ou raccourcie à l'aide du slider présent à côté de ce dernier.

Cette période d'incubation plus ou moins longue aura un impact plus ou moins important en fonction du comportement suivant, l'intra-mobilité.



a : probabilité (infection-chance) d'être infecté au contact d'un malade.

b : probabilité (worsening-rate) au bout de X (incubation-rate) jours que la maladie s'aggrave.

b' : probabilité d'être guérie.

c : probabilité (recovery-chance) de guérir de la maladie.

c' : probabilité (fatality-rate) de mourir de la maladie.

d : probabilité (reinfection-chance) de perdre son immunité à la maladie et d'être à nouveau susceptible d'avoir la maladie.

Modèle comportementale de notre système

1.4 LES DÉCÈS

La dernière fonctionnalité que nous avons implémenté est le décès de certaines *turtles* contaminées. La puissance de cette fonctionnalité est réglable à l'aide du slider ci-contre. Plus le *fatality-rate* sera élevé, plus l'infecté aura de chance de décéder pendant sa période d'infection.



2 COMPORTEMENTS PRÉSENTS

2.1 DÉPLACEMENT D'UN PAYS À L'AUTRE

En plus de pouvoir ouvrir et fermer la frontière, il est possible de gérer le comportement des *turtles* vis à vis de cette frontière. En effet, en fonction de la valeur de l'indice de la variable *travel-tendency* les *turtles* ont plus ou moins tendance à vouloir se rapprocher de la frontière ou la franchir. La valeur 0.0 aura le même effet que de passer le bouton "ON/OFF" *travel?* à OFF.



2.2 LA MISE EN PLACE D'UNE QUARANTAINE

Dans notre implémentation, nous avons mis en place un système de quarantaine. Contrairement au confinement que nous connaissons actuellement avec la pandémie qui nous touche, notre système de quarantaine ne s'applique qu'au *turtles* étant infectées.

Les *turtles* infectées sont matérialisées à l'intérieur d'un carré blanc pour que l'analyste puisse suivre ce comportement mis en place dans notre outil lors d'une simulation.



Ces dernières, une fois infectée se retrouvent complètement à l'arrêt et isolé du reste de la société. Elles ne peuvent plus contaminer le reste de la population.

Ce système de quarantaine est réglable à l'aide des switches "ON/OFF" ci-dessous. Afin de varier les simulations et de constater l'importance d'une quarantaine nous avons séparé les switch en fonctions de chaque région. En plus de ces switches, nous avons décidé d'incorporer un indice pour cette quarantaine. L'objectif de cet indice est de pouvoir également simuler une quarantaine "culturelle" et non uniquement une quarantaine imposée par la loi.



Il est intéressant de simuler cette quarantaine avec la fonctionnalité d'incubation.

2.3 L'INTRA-MOBILITÉ

Dans cet outil, deux sliders sont présents afin de régler "l'intra-mobilité". Cette valeur correspond à la tendance qu'auront les *turtles* de se déplacer à l'intérieur de leur région. Plus l'indice sera près de 1, plus celles-ci auront tendance à beaucoup se déplacer à l'intérieur de leur région.



3 L'IMPORTANCE DE NOTRE FRONTIÈRE DANS LES SIMULATIONS

Nous avons fait varier différents facteurs au cours de nos simulations mais nous avons toujours fait jouer la présence de notre frontière au cours de celles-ci. En effet, cela nous permet de simuler des voyages entre deux pays mais également des comportements différents d'un pays à l'autre.

Notre première simulation montrera la propagation de l'épidémie lorsque la frontière est fermée après un certain nombre de jour que l'on fera varier. La seconde simulation tâchera de montrer l'impact de la mise en quarantaine.

3.1 UNE FRONTIÈRE QUI SE FERME PLUS OU MOINS TARD

Dans cette première simulation, nous allons constater comment un pays qui, à l'origine, n'est pas contaminé par le virus peut se servir d'une frontière pour se défendre et empêcher la propagation du virus venant du pays voisin.

Les paramètres de la simulation sont les suivants, voir capture ci-dessous. La simulation sera relancée 3 fois et le nombre d'habitants par région sera toujours de 200 à gauche et 200 à droite. Le seul changement qui aura lieu entre chaque simulation est la fermeture de la frontière au bout d'un certain de nombre de jour pour constater comment s'en sortent les pays lorsque la frontière se ferme.

The image shows a screenshot of a simulation parameter interface. It contains several sliders and checkboxes organized into sections:

- Initial conditions:**
 - initial-people: 400
 - infection-chance: 25
 - incubation-rate: 7 jours
 - worsening-rate: 50 %
 - recovery-chance: 55
 - average-recovery-time: 130
 - fatality-rate: 1.4
- Continents settings :**
 - intra-mobility-left: 0.5
 - intra-mobility-right: 0.5
 - travel-tendency: 0.5
 - On/Off TwoContinentInfected (set to Off)
 - On/Off activate-travel (set to Off)
- Reinfection settings :**
 - reinfection-chance: 33 %
 - On/Off activate-reinfection (set to Off)
- Quarantine settings :**
 - On/Off activate-quarantine-left (set to Off)
 - On/Off activate-quarantine-right (set to Off)

Dans un premier temps, afin de réaliser une mesure étalon, la frontière ne sera pas fermée au cours de la simulation. Ensuite dans un deuxième temps, elle se fermera au bout de 5 jours enfin pour terminer au bout de 7 jours.

Dans nos simulations, la région victime de l'infection est la région de gauche.

3.1.1 Sans fermeture de la frontière

Dans cette simulation, nous allons laisser la frontière ouverte tout au long de la simulation. L'objectif est de voir comment le virus se propage et quel impact il a sur la population.

	Population totale	Population gauche	Population droite	Durée
Simulation 1	307	147	160	123
Simulation 2	312	150	162	144
Simulation 3	309	152	157	172
Moyenne	309	150	159	146

Après trois simulations, nous obtenons 91 décès en moyenne sur les deux régions avec une répartition proche du 50/50.

Tous les habitants ont au moins été contaminé une fois¹.

3.1.2 Fermeture de la frontière au bout de 5 jours

Dans cette dernière simulation, nous allons fermer la frontière au bout de 5 jours afin de voir l'impacte de celle-ci.

	Population totale	Population gauche	Population droite	Durée
Simulation 4	342	163	179	106
Simulation 5	341	180	161	114
Simulation 6	339	169	170	106
Moyenne	341	170	171	109

Pour cette maladie, on remarque que la fermeture de la frontière au bout de 5 jours est intéressante, en effet contrairement à la première simulation, nous obtenons des valeurs significatives, la maladie disparaît plus vite et 7.5% de la population totale ont pu survivre en plus à la maladie.

¹ Le facteur de ré-infection étant activé, certaines *turtles* ont été infectées à plusieurs reprises.

3.1.3 Fermeture de la frontière au bout de 7 jours

Dans cette dernière simulation, nous allons laisser la frontière ouverte pendant 7 jours afin de voir l'impact qu'auront les 2 jours de plus.

	Population totale	Population gauche	Population droite	Contaminé gauche	Contaminé droite
Simulation 7	400	200	200	176	59
Simulation 8	399	199	200	142	9
Simulation 9	400	200	200	144	28
Moyenne	400	200	200	154	32

On peut constater qu'au bout de 7 jours, la région de droite contient nettement moins de personnes contaminées que celle de gauche. Cette différence sera-t-elle assez importante pour sauver la population situé à droite ?

	Population totale	Population gauche	Population droite	Durée
Simulation 7	321	157	164	115
Simulation 8	314	161	153	134
Simulation 9	299	151	148	126
Moyenne	311	156	155	125

Nous constatons que cela n'a pas permis au pays de droite de sauver sa population puisque qu'il y a autant de pertes humaines en moyenne entre chaque pays. Toutes les *turtles* ont été touchées par le virus.

3.1.4 Conclusions

Nous allons maintenant revenir sur ces simulations en analysant les chiffres afin de déterminer l'impact qu'a eu la fermeture de la frontière sur l'épidémie.

Tout d'abord, sur la durée de l'épidémie, nous pouvons constater que fermer la frontière au bout du 5ème jours (et du 7ème jours) a permis de réduire la durée de l'épidémie. En effet, cette dernière n'a duré que 109 jours avec une fermeture à 5 jours, au lieu de 125 pour une fermeture à 7 jours et de 146 jours sans aucune fermeture.

La durée plus longue sans fermeture s'explique par l'augmentation des risques de retomber malade lorsque qu'on est déjà guéri. En effet, l'ouverture de la frontière nous permet de rencontrer plus de personne ce qui augmente le risque.

Sur le nombre de victimes en revanche, la fermeture a eu très peu d'impact lors d'une fermeture à 7 jours. Nous étions entre 150 et 160 survivants à la fin de l'épidémie. Le fait que le nombre soit constant est dû au fait que l'ensemble de la population est touché à chaque fois.

En revanche, quand nous avons fermé la frontière au bout de 5 jours, nous avons obtenue des résultats significatif. Nous avons pu sauver 6% de vies de plus par rapport à la simulation sans frontière dans la partie qui n'était pas initialement infectée.

Nous pouvons donc conclure qu'avec un virus aussi puissant que celui que nous avons implémentés, il était important de fermer la frontière très rapidement. Au bout d'une semaine il était déjà trop tard. L'échelon a 5 jours pour avoir des résultats vraiment significatif est à mettre en relief avec la réalité. Est-il possible de fermer une frontière aussi rapidement sans que son propre pays est de retour réelle sur la situation ?

3.2 LA MISE EN PLACE D'UNE QUARANTAINE

Dans cette partie nous allons mettre en évidence l'importance du facteur de quarantaine dans la propagation d'un virus. Pour cela nous allons utiliser les mêmes paramètres que précédemment mis à part ceux concernant la quarantaine, voir capture ci-dessous. Nous prendrons en compte plusieurs simulations pour donner un aperçu de nos observations. L'activation de la quarantaine dans un des deux continents nous permettra de voir l'impact d'une mise en quarantaine sur notre simulateur.



3.2.1 L'impact au début de la propagation

Le premier impact de la quarantaine peut être observer lors de propagation du virus en début de simulation. En effet comme nous pouvons voir dans le tableau de résultat (1) nous commençons à voir une différence notable sur le nombre de personne infecté autour du quinzième jours de simulation.

Nombre d'infection à Gauche jours 15.	Nombre d'infection à Droite jours 15.	% d'infection en moins avec quarantaine.
18	56	67,9%
33	52	36,6%
22	52	57,7%
18	47	61,7%
32	57	43,9%
Moyenne : 24,6	Moyenne : 52,8	Moyenne : 53,6%

Nous remarquons grâce à cette observation que la quarantaine a un impact sur la propagation du virus, en effet dans nos observations il y a en moyenne 53,6% d'infectés en moins sur le continent ayant mis en place une quarantaine. La quarantaine permet donc un ralentissement de la diffusion du virus ce qui est important pour la mise en place d'infrastructure pour contrôler le virus.

3.2.2 L'impact global de la quarantaine

Nous allons maintenant observer l'impact général d'une quarantaine sur un continent en comparant le % de mort et le % d'infection entre deux continents de 200 personnes. Un des continents a mis en place une quarantaine et l'autre non. Voici les résultats obtenus :

% de décès à gauche	% de personnes ayant été infectées	% de décès à droite	% de personnes ayant été infectées
21%	95%	27%	100%
18%	96.5%	25%	100%
23%	91.5%	31%	100%
Moyenne : 20.7%	Moyenne : 94.3%	Moyenne : 27.7%	Moyenne : 100%

Nous pouvons voir avec les paramètres de simulations mis en place qu'en plus de ralentir la propagation du virus la quarantaine permet de réduire considérablement le nombre de décès et permet aussi de limiter le pourcentage de personnes infectés.

3.2.3 Conclusions

Pour conclure nous pouvons voir grâce à nos résultats que la quarantaine a un impact tout au long de la simulation. En effet au début de la simulation elle permet de ralentir la propagation du virus. Et permettra aussi tout au long de la période d'infection de limiter le nombre de personnes infectées ainsi que le nombre de mort.

CONCLUSION

En conclusion de ce rapport, nous avons souhaité revenir sur nos expérimentations. En effet, bien que nous ayons conservé le même nombre de *turtles* de départ au début de chaque simulations, le nombre d'infectés pouvait être différent. De plus, nous sommes bien conscient que répéter l'opération trois fois ne suffit pas pour obtenir une valeur homogène qui reflète l'ensemble des expériences menées. Nous aurions aimés reproduire plus de fois ces simulations.

Nous n'avons également pas eu le temps de simuler tous les scénarios que l'implémentation que nous avions pu réaliser. Par exemple, il aurait pu être intéressant de mettre en parallèle la fermeture de la frontière avec la quarantaine. Il aurait également pu être intéressant de confronter deux cultures : Des gens très mobiles dans leur territoire face à des gens beaucoup moins mobiles dans la seconde région. Nous aurions pu confronter également deux cultures, l'une se mettant en quarantaine plus ou moins seule face à une autre qui ne le fait du tout.

Ce projet nous a apporté plus de recul sur la situation actuelle et ce fut intéressant d'avoir un projet qui se rapproche de l'actualité. Malheureusement, nous n'avons pas pu réaliser un virus qui colle parfaitement à celui qui nous touche, mais malgré tout nous constatons la gestion des gouvernements autour du monde avec un autre oeil.