

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université D'Adrar  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Mathématiques et d'Informatique



# MEMOIRE

Présenté par

**RAHMANI Asma**

pour obtenir

**Le grade de Master**

Spécialité : Informatique

Option : Système Informatique

Thème

---

## Modélisation et simulation système multi-agent de la propagation d'une épidémie covid-19

---

Évalué , devant les jurys composés de

Président : Dr.KABOU Salheddine MCA à l'université d'ADRAR  
Examineur : Mr.RABHI Seddik MCA à l'université d'ADRAR  
Encadreur : Mr. KOHILI Mohammed MAA à l'université d'ADRAR

*Année universitaire :2021/2022*



## شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): كحيل محمد  
المشرف مذكرة الماستر الموسومة بـ : Modélisation et simulation système multi-agent de la  
propagation d'une épidémie covid-19

من إنجاز الطالب(ة): رحمان اسماء  
و الطالب(ة):

كلية : العلوم والتكنولوجيا

القسم : الرياضيات والاعلام الالي

التخصص : انظمة ذكية

تاريخ تقييم / مناقشة: 25 /06/2022

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين  
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.  
وإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والايكترونية (PDF).

13 JUL. 2022

- امضاء المشرف:

ادرار في .....

مساعد رئيس القسم:



---

## *Remerciements*

Je remercie Dieu qui m'a donné la force, la patience, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

Je remercie mes chers parents et frères pour leur aide et leur soutien financier et moral.

Je voudrais également remercier et exprimer ma gratitude et mon respect à mon superviseur, **Mr. Kohili Mohammad** pour l'aide et les conseils qu'il m'a apportés lors de l'élaboration de cette étude pour sa patience, sa gentillesse et surtout les précieux conseils qu'il m'a toujours donnés. a ouvert mon chemin vers le succès.

J'en profite également pour remercier tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de cette thèse, sans oublier la générosité d'amis et de collègues pour leur soutien moral à mon égard.

Je tiens également à remercier tous mes professeurs.

J'adresse également mes remerciements également aux membres du jury qui ont accepté de participer à l'évaluation de mon humble travail, ainsi qu'à toute l'équipe pédagogique travaillant au Département de Mathématiques et Informatique de l'Université d'Adrar qui s'est penchée sur les valeurs originelles, en signe de profond respect.

---

## *Dédicace*

C'est avec grand plaisir, à cœur ouvert et avec une grande joie, que je dédie cet humble travail à mes chers parents :

Ma chère mère, à qui je dois tant pour ces sacrifices, m'a encouragé jour et nuit à me voir réaliser ce que je suis aujourd'hui.

J'ai mon père, mon modèle, qui a fait beaucoup de sacrifices pour assurer mon éducation qui a rendu ma vie pleine de bonheur. L'amour que je ressens pour toi est incomparable, papa, je t'aime du fond du cœur.

A mes frères et sœurs, que Dieu les protège.

A mon superviseur, **Mr : Kohili Mohammad**, qui m'a donné le courage et la force de mener à bien ce projet.

A mon fiancé, **Mr : Ben Sidi M'hamed**, qui m'a toujours consolé et encouragé à réaliser mes rêves.

Je voudrais dire à tous mes amis, merci beaucoup, je vous aime.

À moi-même, pour ne pas avoir abandonné, je suis très fière de moi !

# Table des matières

<b>Remerciements</b>	<b>i</b>
<b>Resumé</b>	<b>viii</b>
<b>Notations</b>	<b>ix</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Modélisation en épidémiologie</b>	<b>3</b>
1.1 Introduction . . . . .	3
1.2 Les modèles classiques en compartiments : . . . . .	4
1.2.1 Le modèle SI, SIS . . . . .	4
1.2.2 Le modèle SIR, SIRS . . . . .	5
1.2.3 Le modèle SEI, SEIR . . . . .	7
1.3 La force d'infection . . . . .	8
1.4 Le théorème du seuil (nombre de reproduction de base $R_0$ ) : . . . . .	9
1.5 Conclusion . . . . .	11
<b>2 Les Systèmes Multi-Agents</b>	<b>12</b>
2.1 introduction . . . . .	12
2.2 La notion d'agent . . . . .	13
2.2.1 Définition . . . . .	13
2.2.2 Environnement . . . . .	14

---

2.2.3	Caractéristiques des agents . . . . .	15
2.2.3.1	Caractéristiques essentielles des agents . . . . .	16
2.2.3.2	Caractéristiques des agents spécifiques . . . . .	17
2.2.4	Les type d’agents . . . . .	17
2.2.4.1	Agent cognitif . . . . .	17
2.2.4.2	Agent réactif . . . . .	18
2.2.4.3	Agent hybride . . . . .	18
2.3	Les systèmes Multi-Agents . . . . .	18
2.3.1	Propriétés des systèmes Multi-Agents . . . . .	19
2.3.2	Interaction dans un système Multi-Agents . . . . .	20
2.3.2.1	Définition de l’interaction . . . . .	20
2.3.2.2	La coopération . . . . .	20
2.3.2.3	La négociation . . . . .	21
2.3.2.4	La coordination . . . . .	21
2.3.2.5	La communication . . . . .	21
2.4	conclusion . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Modélisation et simulation de modèle SHEAQIR</b>	<b>25</b>
3.1	introduction . . . . .	25
3.2	Le modèle SHEAQIR : . . . . .	26
3.3	Description générale du modèle : . . . . .	26
3.3.1	La transition des individus ente compartiments et leurs interactions : . . . . .	27
3.3.1.1	La population susceptible $S(t)$ et confinement $H(t)$ : . . . . .	28
3.3.1.2	La population exposée $E(t)$ : . . . . .	29
3.3.1.3	La population Asymptomatique $A(t)$ : . . . . .	29
3.3.1.4	La population symptomatique $I(t)$ : . . . . .	30
3.3.1.5	La population quarantaine $Q(t)$ : . . . . .	30
3.3.1.6	La population retirés $R(t)$ : . . . . .	30
3.4	Les principaux paramètres du modèle : . . . . .	32
3.5	Conception de la simulation : . . . . .	32
3.5.1	Algorithmes des différents phénomènes : . . . . .	33

---

3.5.1.1	Algorithme Déplacement :	33
3.5.1.2	Algorithme Propagation :	34
3.5.2	Fonctionnement du système :	36
3.5.2.1	Diagramme de classes de la simulation	37
3.5.2.2	Diagramme d'état transition	39
3.6	Conclusion	40
<b>4</b>	<b>Analyse et résultats numériques de modèle de covid 19</b>	<b>41</b>
4.1	introduction	41
4.2	Environnement de développement :	41
4.3	Analyse numérique de modèle :	42
4.4	Conclusion	46
	<b>Conclusion</b>	<b>47</b>
	<b>bibliographie</b>	<b>48</b>

# Table des figures

1.1	Schéma de modèle SI. . . . .	4
1.2	Schéma de modèle SIS. . . . .	5
1.3	Schéma de modèle SIR. . . . .	6
1.4	Schéma de modèle SIRS. . . . .	6
1.5	Schéma de modèle SEI. . . . .	7
1.6	Schéma de modèle SEIR. . . . .	8
1.7	dynamique de transmission d'une maladie infectieuse entre des individus pour estimer les cas secondaires $R_0$ . . . . .	10
2.1	Un Agent avec son environnement . . . . .	14
2.2	Système Multi-Agents . . . . .	19
2.3	Architecture Tableau noir . . . . .	23
2.4	Architecture à contrôle distribué . . . . .	24
3.1	Base du modèle d'état SHEAQIR. . . . .	27
3.2	une présentation compartimentale du modèle mathématique de transmis- sion de covid 19. . . . .	28
3.3	Algorithme Déplacement. . . . .	33
3.4	Algorithme de propagation. . . . .	35
3.5	Organisation de notre système. . . . .	37
3.6	Diagramme de classe . . . . .	38
3.7	Diagramme d'état transition . . . . .	39

---

4.1	: la propagation des infectés en Algérie dans réalité et dans le cas d'utiliser le modèle . . . . .	43
4.2	Impact de taux des Asymptotiques : $\alpha_1$ . . . . .	44
4.3	: Impact des interventions de santé publique : $\alpha_2$ . . . . .	45
4.4	: Impact de taux de transfer vers les symptomiques $\alpha_3$ . . . . .	46

# Liste des tableaux

3.1	Paramètres du modèle(3.8) avec interprétations biologiques . . . . .	32
4.1	L'estimation des paramètres . . . . .	42
4.2	les conditions initiales de système(3.8) . . . . .	43

---

## *Résumé*

La prévention et le contrôle du virus corona est le travail prioritaire pour maintenir la sécurité de la santé publique dans le monde. Dans ce travail, un modèle mathématique **SHEAQIR** est proposé, qui se compose de sept variables (susceptible - rester à la maison - exposé - asymptotique - quarantaine - infectieux - remis).

Pour résoudre le système, la méthode numérique de **Runge – Kutta** de quatrième ordre est utilisée, et afin de prévenir et contrôler des épidémies, nous avons utilisé la technologie de modélisation et de simulation multi-agent. Le modèle peut simuler la tendance de développement dynamique de l'épidémie.

**Mots clés** : coronavirus, covid19, épidémie, pandémie, nombre de base de reproduction, Modélisation, simulation, systèmes Multi-Agents (SMA), NetLogo.



## *Abstract*

The Prevention and control of corona virus is the priority work to maintain public health security in the world. In this work, a mathematical model **SHEAQIR** is proposed, which consists of seven variables (susceptible - stay at home - exposed - asymptotic - quarantine - infectious - remitted).

To solve the system, the fourth-order **Runge–Kutta** numerical method is used, and in order to prevent and control outbreaks, we used multi-agent modeling and simulation technology. The model can simulate the dynamic development trend of the epidemic.

---

## Notations

$N(t)$  Population totale à l'instant  $t$ .

$\Lambda$  la force d'infection  $\Lambda$ mpda.

$R_0$  nombre de reproduction de base.

### Abbreviations :

*EDO* Equations Differentielles Ordinaires.

# Introduction générale

**D**epuis l'Antiquité ,des épidémies ont anéanti des populations entières en quelques mois voire quelques jours, créant la panique parmi la population face à un mal inconnu. D'ailleurs, ce qui, dans de nombreux cas, a entraîné un énorme changement dans le cours de l'histoire humaine et la fin des civilisations.[4]

Tout au long de son histoire, l'humanité a dû faire face à des flambées de maladies infectieuses et à d'autres urgences sanitaires comme la pandémie du Covid-19 qui a apparu à Wuhan, en Chine, en décembre 2019 dont la propagation a causé une mortalité sans précédent et menacé la sécurité sanitaire, même au 21e siècle où certains ont pu penser que les progrès de la médecine mettaient les riches pays à l'abri de la survenue de cette pandémie actuelle. [5]

Le 11 décembre 2020, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a rebaptisé la maladie épidémique causée par (nCov-2019) en souche du syndrome respiratoire aigu sévère (SARS-Cov-2). [6][7]

Le 30 janvier 2020, l'Organisation mondiale de la santé l'a déclarée comme une urgence de santé publique de portée internationale.[8] De plus, les rapports médicaux ont confirmé que les premiers malades du Covid-19 étaient ceux qui souffrent d'asthme, de diabète, de maladies cardiaques... en plus de leur association épidémiologique avec le marché vendant des fruits de mer et des animaux (viande de renard, souris...).[9]

Les études scientifiques ont confirmé que le coronavirus est d'origine animale, causé par des chauves-souris, un mammifère consommé dans le sud de la Chine.[10] Les symptômes les plus courants causés par le Covid-19 sont la fièvre, la toux sèche, les douleurs articu-

---

lares, la congestion nasale et l'écoulement nasal. Les maux de gorge et la diarrhée ont également une période d'incubation de 2 à 14 jours.[10][11]

Récemment, de nombreux programmeurs se sont appuyés sur les mathématiques pour trouver une solution à leurs questions complexes. Nous nous sommes donc appuyés sur les mathématiques et avons suggéré un modèle mathématique SHEAQIR qui s'adapte à une condition particulière, en outre, nous avons simulé le COVID-19 en utilisant des multi-agents, car nous le voyons comme le moyen le plus approprié de modéliser cette épidémie. La simulation Multi-agents est un vaste domaine de recherches récentes, basée sur la notion d'agent.

Le système multi-agents est naturellement adapté pour décrire et simuler le Covid-19 et nous permet d'apparaître plus près de la réalité. Cela signifie que grâce à SMA, nous pouvons incarner le modèle en l'interprétant par une notion d'agent (car il nous est difficile d'incarner des équations mathématiques).[12]

L'objectif de notre modeste recherche est de modéliser et simuler l'épidémie du Covid-19 et pour mener à bien notre étude, nous avons fait que le contenu de notre mémoire s'articulera autour de quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous discute les modèles mathématiques classiques en épidémiologie.

Dans le deuxième chapitre, on traite le système multi-agents (SMA) et leurs applications dans les domaines de la modélisation et de la simulation.

Dans le troisième chapitre, on commence par décrire le modèle SHEAQIR proposé dans cette étude et ensuite on finie par une conception d'un système multi-agents adaptatif à ce modèle.

Finalement, Le dernier chapitre présente une implémentation et une simulation numérique pour visualiser le comportement de chaque compartiment du modèle SHEAQIR.

# Modélisation en épidémiologie

## 1.1 Introduction

Les modèles mathématiques sont des représentations ou, en d'autres termes, une interprétation abstraite de la réalité dans différents domaines qui peuvent être référencés pour l'analyse et le calcul sur la base d'un ensemble d'hypothèses. Les modèles compartimentaux sont parmi les premiers modèles mathématiques utilisés en épidémiologie, qui jouent un rôle important dans l'étude du développement et de l'élimination des maladies infectieuses, et la plupart d'entre eux devraient permettre une meilleure compréhension et donc un meilleur contrôle des phénomènes épidémiologiques.

Pour la modélisation, il est bon d'avoir une bonne connaissance de la biologie de la maladie [1]. Pour modéliser des compartiments déterministes ou stochastiques en un temps discret ou continu, on s'appuie sur la maladie à étudier, sauf pour l'utilisation de modèles stochastiques car ils sont plus complexes que les autres modèles.

Dans ce chapitre, on s'intéresse aux modèles compartimentaux classiques, qui simplifient la modélisation mathématique des maladies infectieuses, où les populations sont affectées à des compartiments avec des étiquettes par exemple S, E, I ou R dont les personnes peuvent progresser entre les compartiments d'un compartiment à l'autre.

Ces modèles sont souvent exécutés à l'aide d'équations différentielles ordinaires (déterministes), mais il peut également être utilisé dans un cadre aléatoire, ce qui est plus complexe.

## 1.2 Les modèles classiques en compartiments :

### 1.2.1 Le modèle SI, SIS

Le modèle **SI** est l'un des modèles dynamiques simples, qui a développé par **W. Hammar** en **1906**, ce modèle comprend donc deux compartiments :

✓ Le compartiment des individus susceptibles (sains) sont réceptifs à l'agent infectieux qui ne sont pas contaminés mais qui peuvent attraper la maladie et devient un si contagieux noté ( $S$ ).

✓ Le compartiment des individus infectés indiqués ( $I$ ) sont les infectés et donc les infectés.

Dans le domaine de l'épidémiologie, on peut tracer un modèle épidémique au moyen des boîtes ou des compartiments qui représentent les différents états dans lesquels les membres d'une communauté peuvent se trouver pendant la maladie, et les changements d'états (statuts) peuvent être indiqués par des flèches. En fait, le diagramme schématique du modèle SI est présenté à la figure 1.1 :

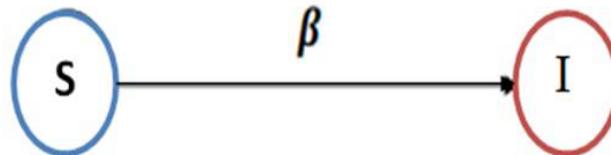


FIGURE 1.1 – Schéma de modèle SI.

Le système des équations différentielles s'écrit :

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta I(t)S(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta I(t)S(t) \end{cases} \quad (1.1)$$

Avec  $N(t) = S(t) + I(t)$  est la population totale et il est constante à travers de temps  $t$ .

Il existe certains cas dans lesquels les personnes à risque sont infectées et sont traitées à

un rythme  $\gamma$  mais ne développent pas d'immunité et deviennent sensibles à une infection telle que la tuberculose. Le schéma suivant résume brièvement le modèle :

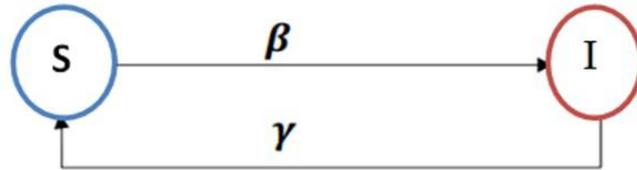


FIGURE 1.2 – Schéma de modèle SIS.

Les équations différentielles associées sont :

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta I(t)S(t) + \gamma I(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta I(t)S(t) - \gamma I(t) \end{cases} \quad (1.2)$$

Avec :

$\beta$  : Le taux d'infection par unité de temps.

$\gamma$  : Le taux de chaque infecté guérit.

### 1.2.2 Le modèle SIR, SIRS

Ce modèle a été proposé en **1927** par les deux chercheurs : **kermack** et **MC Kendrick**, se compose de trois catégories de compartiments :

- $S(t)$  : individus sains
- $I(t)$  : individus infectés
- $R(t)$  : individus remis ou guéris qui sont confères une immunisation contre la réinfection ou mort.

Le diagramme **SIR** ci-dessous montre comment les individus se déplacent dans chaque compartiment du modèle.

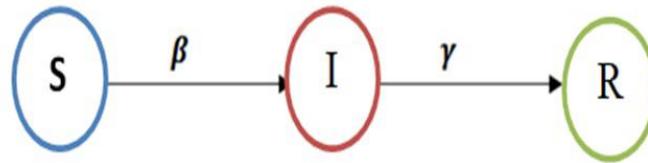


FIGURE 1.3 – Schéma de modèle SIR.

Nous pouvons associer trois équations d'évolutions propres telles que :

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta I(t)S(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta I(t)S(t) - \gamma I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) \end{cases} \quad (1.3)$$

Où :

$\beta$  est le taux de transmission..

$\gamma$  est le taux de guérison.

Le terme suivant :  $\beta I(t)S(t)$  représente le nombre de contacts entre personnes saines et personnes infectées. Par contre, on ne rencontre que des maladies, et l'individu ne reçoit pas toujours d'immunisation, perd son immunité et retourne dans le compartiment  $S$  au taux  $\eta$ , c'est le schéma du modèle **SIRS** comme suit :

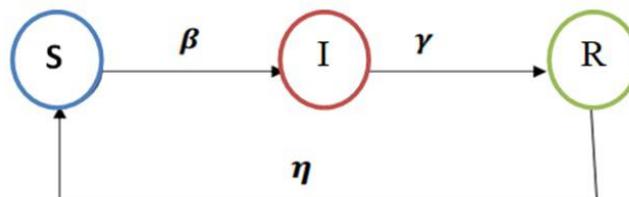


FIGURE 1.4 – Schéma de modèle SIRS.

Ce modèle est formulé comme suit :

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta I(t)S(t) + \eta R(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta I(t)S(t) - \gamma I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) - \eta R(t) \end{cases} \quad (1.4)$$

Avec :

$\beta$  : est le taux de transmission.

$\gamma$  : le taux de chaque infecté guérit.

$\eta$  : le taux de perte immunitaire (chaque retiré redevient sain).

### 1.2.3 Le modèle SEI, SEIR

La formation de ces modèles sont basés sur d'une sous population est déjà infecté mais pas encore contagieux (non infectieux) c'est-à-dire les sous populations susceptibles avant vont à la classe I, Elle nécessite le passage d'une période pour la rendre infectieuse appelée latence ou période d'incubation dans un compartiment intermédiaire noté E (exposé), prenant en compte  $\beta$  le taux d'incubation de la maladie. Les graphiques et les **ED** sont développés comme suit :

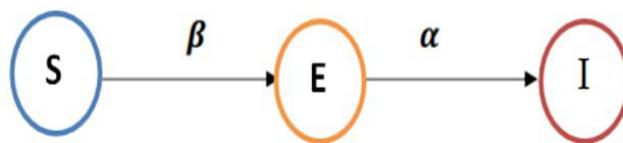


FIGURE 1.5 – Schéma de modèle SEI.

Le modèle se traduit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta I(t)S(t) \\ \frac{dE}{dt} = \beta I(t)S(t) - \alpha E(t) \\ \frac{dI}{dt} = \alpha E(t) \end{array} \right. \quad (1.5)$$

Ainsi que :

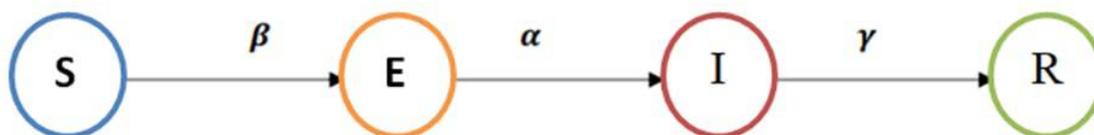


FIGURE 1.6 – Schéma de modèle SEIR.

Le système EDO est développé comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta I(t)S(t) \\ \frac{dE}{dt} = \beta I(t)S(t) - \alpha E(t) \\ \frac{dI}{dt} = \alpha E(t) - \gamma I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) \end{array} \right. \quad (1.6)$$

### 1.3 La force d'infection

La force de l'infection est le facteur principal dans tous les modèles épidémiologiques. Ce dernier explique le processus de contamination en exprimant la probabilité qu'un individu exposé contracte la maladie.

#### 1.4. LE THÉORÈME DU SEUIL (NOMBRE DE REPRODUCTION DE BASE $R_0$ ) :

---

C'est cette force d'infection qui déplace les individus du compartiment  $S$  vers le compartiment  $I$ . Il existe différentes manières d'écrire cette probabilité. Deux d'entre eux sont une transmission dépendante de l'intensité où la force de l'infection est proportionnelle au nombre de patients  $i$  dans la communauté d'accueil :

$$\Lambda = \beta I \quad (1.7)$$

Et la transmission fréquence dépendante où la force d'infection est proportionnelle à la proportion de malades dans la population. Si la transmission de la maladie augmente avec l'augmentation de la densité de population, alors :

$$\Lambda = \beta I/N \quad (1.8)$$

Si la transmission n'est pas aussi fiable que (VIH).

## 1.4 Le théorème du seuil (nombre de reproduction de base $R_0$ ) :

La première question que se pose un épidémiologiste est de savoir s'il y a épidémie ou non. Pour répondre à cette question d'une manière très simple en examinant le système d'équations différentielles.

La première étape consiste à traduire notre question sous forme mathématique. Ensuite, nous calculons la quantité qui décrit le nombre moyen de cas secondaires, provenant d'un individu infectieux typique pendant la période d'infection, lorsqu'il est présenté à une population constituée entièrement de susceptibilité.

Cette quantité est appelée le nombre de reproduction de base et désignée par le symbole  $R_0$ , donc la première idée de Ce chiffre est de **Théophile Lotz** (1980) (Nichiura, Dietz, Eichner 2006). Il s'avère que  $R_0$  est un seuil et après **Ross** décrit le premier modèle différentiel et donne les conditions de seuil comme suit :

Si  $R_0 \leq 1$ , alors le point sans maladie est globalement stable c'est-à-dire qu'un individu en

1.4. LE THÉORÈME DU SEUIL (NOMBRE DE REPRODUCTION DE BASE  $R_0$ ) :

---

infecte en moyenne moins d'un, ce qui signifie que la maladie disparaîtra de la population. À l'opposé, si  $R_0 > 1$ , alors le point endémique est globalement stable c'est-à-dire la maladie peut se propager dans la population.

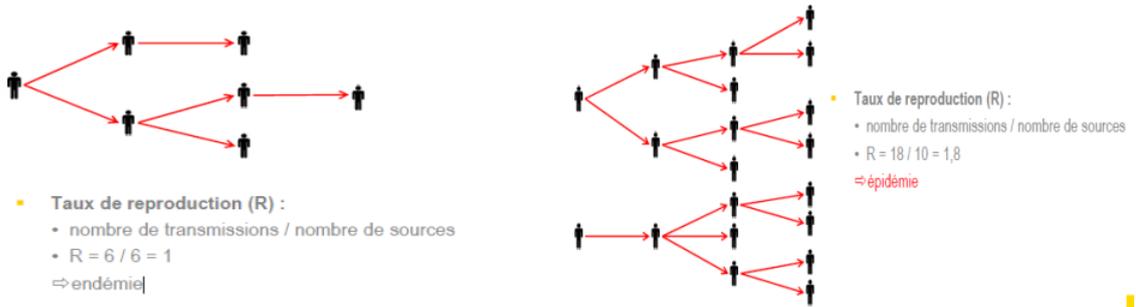


FIGURE 1.7 – dynamique de transmission d'une maladie infectieuse entre des individus pour estimer les cas secondaires  $R_0$

## 1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le concept de modélisation mathématique en épidémiologie, et nous avons également présenté quelques modèles où le chercheur revient à la littérature pour modéliser de nouveaux modèles concernant les différents phénomènes. Enfin, nous avons parlé du nombre de reproduction  $R_0$ , qui est nécessaire pour connaître la propagation de la maladie au sein de la population.

# Les Systèmes Multi-Agents

## 2.1 introduction

De nos jours, le mot "**agent**" est utilisé dans plusieurs domaines, et donc plusieurs sens lui sont associés. De plus, même dans le domaine de l'informatique, de nombreux chercheurs ont défini la notion d'agent de différentes manières.

Nous nous attacherons à le définir clairement au cours de ce chapitre. De plus, parfois, un agent n'est pas seul dans son environnement, mais d'autres agents sont présents autour de lui. Par conséquent, ces agents doivent avoir la capacité d'interagir entre eux.

Le système dans lequel de nombreux agents se développent est appelé **système multi-agents**, et il possède notamment de nombreuses propriétés intéressantes que nous allons aborder.

## 2.2 La notion d'agent

### 2.2.1 Définition

Etymologiquement, le mot agent est inspiré du latin "agere" qui signifie agir, donc littéralement, un agent est une entité qui agit. [2]

Néanmoins, il n'y a pas de définition unique et convenue de l'agent, mais au contraire différentes définitions lui sont associées et d'ailleurs chacun le définit selon son point de vue et son concept. Voici quelques définitions de ce qu'est l'agent :

**SHOHAM** : : Un agent est une entité qui opère de manière continue et indépendante dans un environnement particulier en présence d'autres opérations et d'autres agents.

**RUSSELL** : Un agent est une entité qui connaît et opère dans son environnement.

**WOOLDRIGE et JENNINGS** : Un agent est un système informatique, situé dans un environnement, qui fonctionne de manière autonome pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu.

**FERBER** : L'agent est une entité autonome, réelle ou abstraite, capable d'agir en elle-même et dans son environnement, et dans le cas où il se trouve dans un environnement multi-agents, il peut communiquer avec d'autres agents, et son comportement est basé sur le résultat de ses observations et son interaction avec d'autres agents.

**Agent** : est une entité logicielle conçue pour exister dans un certain environnement et pour atteindre des objectifs spécifiques. L'agent a la capacité de travailler de manière indépendante et sur la base des connaissances qu'il possède soit à l'avance, soit acquises en traitant, en interagissant et en communiquant avec son environnement ou d'autres agents, comme changer son environnement ou coopérer avec d'autres agents pour accomplir des tâches communes.

#### Remarque 1

*Il ne peut y avoir d'agent sans environnement. L'environnement est la structure dans laquelle l'agent se développe. L'agent agira sur son environnement et l'environnement se comportera en fonction de l'agent.*

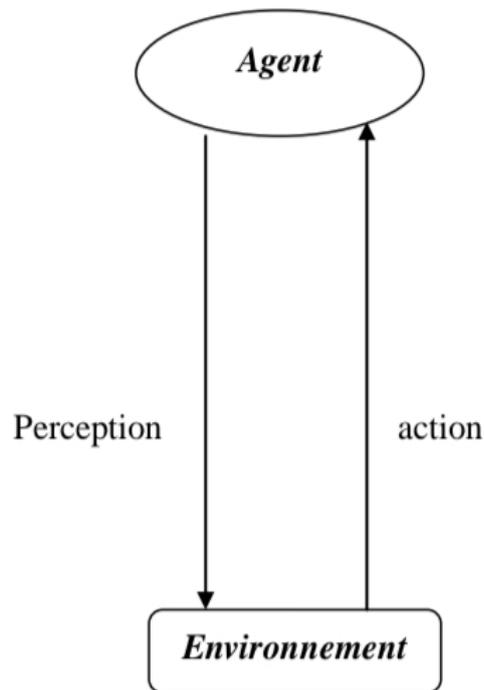


FIGURE 2.1 – Un Agent avec son environnement

### 2.2.2 Environnement

- L'environnement SMA est un espace commun entre les agents système.
- L'environnement est le contexte dans lequel les règles codées dans les agents, les interactions et les organisations sont activées.

Les environnements ont plusieurs propriétés, nous en signalons cinq, qui nous semblent être principales :

1. **Observable : Entièrement / partialement :**

Tout ce dont un agent a besoin pour choisir ses actions est-il disponible via ses capteurs ?

- Si tel est le cas, l'environnement est entièrement accessible.
- Si ce n'est pas le cas, certaines parties de l'environnement sont inaccessibles.

L'agent doit faire des suppositions éclairées sur le monde.

2. **Déterministe/ Stochastique :**

Lorsque l'état suivant de l'environnement est déterminé par l'état actuel de l'envi-

ronnement et l'action de l'agent, l'environnement est déterministe.

Alors que dans les environnements **Stochastique** (non déterministes), il a des aspects qui échappent au contrôle de l'agent.

3. **Episodique/ Séquentiel** : L'environnement épisodique dans lequel le comportement du travailleur est divisé en anneaux atomiques. Chaque boucle est associée à une action spécifique, et toutes les actions sont indépendantes, et n'ont aucun effet entre elles.

Alors que dans les environnements séquentiels, les actions suivantes dépendent des actions effectuées précédemment. Ce sont les environnements les plus simples car le travailleur n'a pas à se soucier de ce qui pourrait arriver ensuite.

4. **Statique/ Dynamique** :

L'environnement statique ne change pas pendant que l'agent délibère sur ce qu'il doit faire, car l'agent n'a pas besoin de surveiller son environnement et n'a aucune contrainte de temps.

L'environnement dynamique peut changer pendant la phase de réflexion ou d'action de l'agent, de sorte que l'agent doit constamment considérer des concepts qui peuvent influencer ses choix d'action.

5. **Discret/ Continu** :

**Discret** : quand les états de l'environnement sont distincts, même s'il y en a une infinité.

**Continu** : quand les états de l'environnement et le temps dans l'environnement sont continus, ainsi que les percepts de l'agent.

### 2.2.3 Caractéristiques des agents

Les caractéristiques générales de l'agent se résument à ce qui lui permet de travailler de manière autonome, comme nous pouvons extraire ces caractéristiques de la manière

et de la structure du travail humain en relation avec le traitement des problèmes et des événements qui se produisent dans le milieu ou l'environnement dans lequel il est situé, ainsi que la façon dont il prend ses décisions.

**Est-ce-que toutes les caractéristiques sont nécessaires pour concevoir un agent ?**

Les caractéristiques les plus importantes sont concentrées dans les points suivants :

### 2.2.3.1 Caractéristiques essentielles des agents

#### 1. Les caractéristiques qui font naître le concept agent

##### **L'autonomie :**

L'agent a une totale indépendance vis-à-vis de lui-même, de ses propres décisions et de la manière dont il traite les événements et les autres agents qui se trouvent avec lui dans le même environnement.

##### **La situation :**

Chaque agent réside essentiellement dans un environnement spécifique et a la capacité de traiter et d'interagir avec son environnement grâce à des entrées et des données obtenues à partir de son environnement lui-même.

#### 2. Les caractéristiques qui font naître le concept agent intelligent :

**La réflexibilité :** L'agent est capable de mener des actions de manière indépendante et réflexive afin d'atteindre les objectifs qui lui sont fixés, la réflexivité signifie dans ce cas :

- **La réactivité :**

L'agent est capable de percevoir les changements dans son environnement, et doit élaborer une réponse dans les temps requis (changer son état interne, exécuter une tâche particulière. . . etc.).

- **La sociabilité :**

L'agent a des caractéristiques sociales, qui sont généralement représentées dans la communication et les relations avec d'autres agents qui partagent son environnement ou des personnes, ainsi que la migration d'un environnement à un

autre dans certains cas.

•**La pro-activité :**

L'agent a la capacité de prendre l'initiative au moment nécessaire et approprié, en fonction de ce qui sert à atteindre ses objectifs, ce qui signifie qu'il a un comportement opportuniste, pour ainsi dire.

### 2.2.3.2 Caractéristiques des agents spécifiques

Les caractéristiques qui existent seulement dans certains types d'agents.

1. **La mobilité :**

La capacité de l'agent de déplacer dans son environnement.

2. **La rationalité :**

La capacité de l'agent d'atteindre ses objectifs avec le moindre coût. Un agent rationnel n'exécute pas des comportements contradictoires avec ses buts.

3. **L'intentionnalité :**

L'agent possède une représentation explicite de ses états mentaux.

## 2.2.4 Les types d'agents

### 2.2.4.1 Agent cognitif

Il est intelligent par lui-même, c'est-à-dire qu'il effectue une certaine réflexion pour choisir ses actions. Un tel raisonnement peut être fait soit sur la base des objectifs de l'agent, soit sur une fonction du groupe.[3].

### 2.2.4.2 Agent réactif

Comme son nom l'indique, l'agent réactif ne réagit qu'aux changements de l'environnement. En d'autres termes, cet agent acquiert simplement des perceptions et interagit avec elles en appliquant certaines règles prédéfinies. Comme il n'y a pratiquement aucune logique, ces agents peuvent agir et réagir très rapidement.[3].

### 2.2.4.3 Agent hybride

Chaque agent hybride est caractérisé par la notion de couches et chaque couche représente soit les agents réactifs, soit les agents cognitifs. Donc l'agent hybride combine entre les deux comportements (comportement réactif et comportement cognitif). [3].

## 2.3 Les systèmes Multi-Agents

Dans tout ce qui a précédé, nous avons parlé de l'agent au singulier, mais l'agent n'existe pas vraiment en lui-même, mais il est entouré d'autres agents formant un système appelé multi-agent et symbolisé par l'acronyme « **SMA** ».

Le SMA est un système constitué d'un groupe d'agents qui sont présents dans un certain environnement et interagissent selon certaines relations. Parmi ses caractéristiques les plus importantes :

- ✓ Chaque agent a des informations incomplètes, c'est-à-dire que sa vue est limitée.
- ✓ Il n'y a pas de contrôle complet sur le système.
- ✓ Les données sont décentralisées.
- ✓ Pas de synchronisation dans l'application de commande.

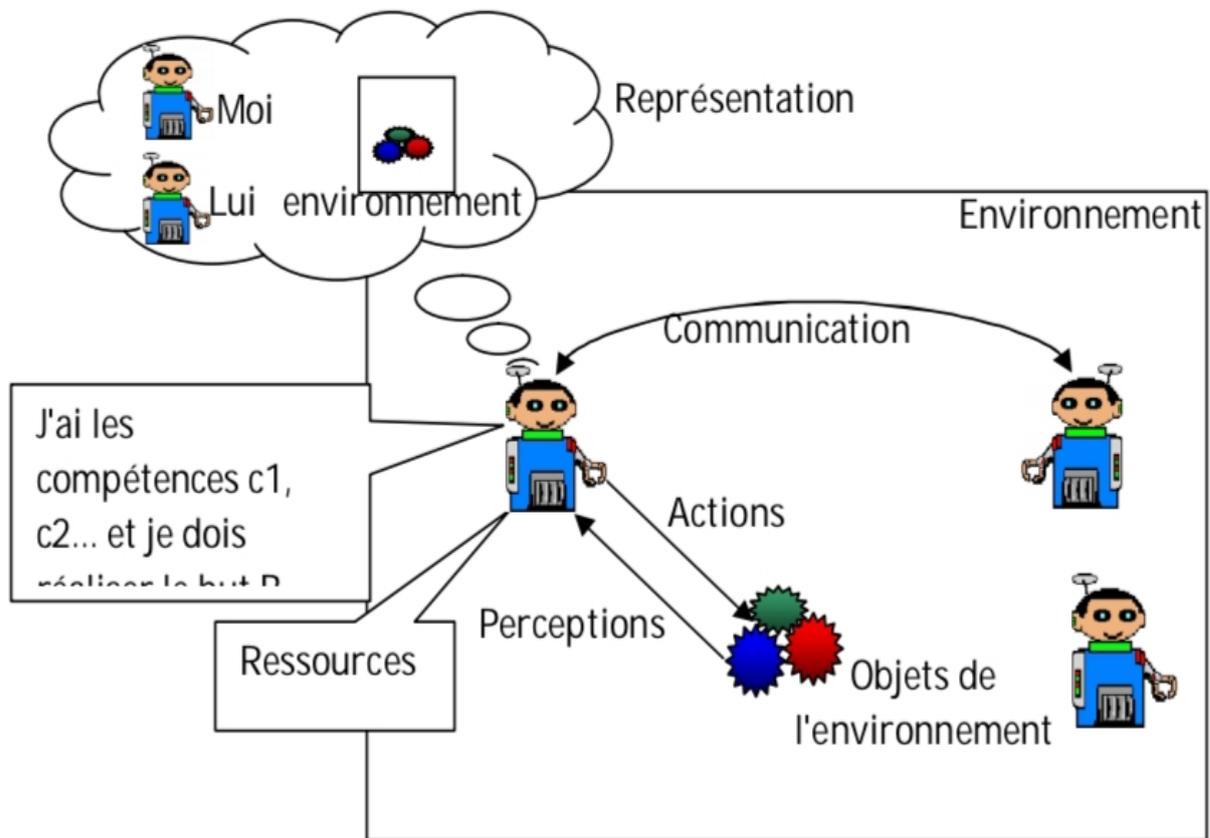


FIGURE 2.2 – Système Multi-Agents

### 2.3.1 Propriétés des systèmes Multi-Agents

Le SMA est un système et tous les systèmes ont des propriétés. Un SMA a les propriétés suivantes :

Ouvert : Les agents entrent et sortent librement (ex : application e-commerce, etc.).

Fermé : L'ensemble des agents qui composent le système reste le même.

Homogène : Tous les agents sont basés sur le même modèle.

Hétérogène : Le SMA est composé d'agents différents du point de vue de leurs modèles et de leurs architectures.

### 2.3.2 Interaction dans un système Multi-Agents

#### 2.3.2.1 Définition de l'interaction

L'interaction peut être définie comme :

Un lien dynamique entre deux ou plusieurs agents à travers un ensemble d'actions mutuelles.

Ainsi les interactions s'expriment à travers une série d'actions dont les conséquences influencent le comportement futur des agents.

#### 2.3.2.2 La coopération

Parmi les caractéristiques fondamentales d'un système multi-agents, on trouve répartition du travail entre les différents agents qui le composent.

Chaque agent possède un ensemble de compétences qui lui permettent de résoudre différents problèmes, mais il existe des cas où ses capacités et compétences ne sont pas disponibles pour effectuer certaines tâches (ou il n'a pas les moyens nécessaires).

Il aura donc besoin de l'intervention d'un autre agent du système qui l'aidera à résoudre. Le problème, c'est qu'il y a coopération pour faire évoluer le système vers ses objectifs. Ainsi, la coopération consiste à engager plusieurs agents pour atteindre un objectif, individuel ou commun.

**Jacques FERBER** définit la coopération entre plusieurs agents comme *"une situation dans laquelle, soit l'ajout d'un nouvel agent permet d'accroître les performances du groupe, soit l'action des agents sert à éviter ou à résoudre des conflits potentiels ou actuels "*.

Un état de coopération apparaît lorsque les actions de chaque agent satisfont au moins une des conditions suivantes :

1. Les agents ont un objectif commun et leurs actions tendent à atteindre cet objectif.
2. Les agents effectuent des actions qui atteignent non seulement leurs propres objectifs, mais aussi les objectifs des autres.

### 2.3.2.3 La négociation

La négociation est un processus appliqué par un ensemble d'individus pour prendre une décision commune.

- Naturellement, on commence la négociation avec des agents qui expriment des demandes contradictoires.
- Cependant, dans une négociation qui se termine avec succès, les agents arrivent à un accord qui représente soit :
  - Le but de l'un entre eux.
  - Une nouvelle alternative.

### 2.3.2.4 La coordination

Jacques FERBER donne la définition suivante : *"la coordination d'actions dans un système Multi-Agents est définie comme l'ensemble des tâches effectuées par les agents pour réaliser les autres actions (actions effectives) dans les meilleures conditions"*.

Il y a trois sections pour les agents en termes de coordination entre eux, la première section est des agents coopératifs, et comme son nom l'indique, les agents de cette section coopèrent avec d'autres agents pour accomplir leurs tâches.

Tandis que la seconde est des agents individualistes et comprend les agents qui ne comptent que sur eux-mêmes pour accomplir leurs tâches.

La troisième section sont les agents compétition et comprend l'adjectif Le reste est la concurrence entre les agents. A titre indicatif, la coordination s'effectue soit par voie de négociation, soit coalitions.

### 2.3.2.5 La communication

La communication est la base de tous les modes d'interaction. Elle se définit comme une forme d'action domestique du travailleur envers d'autres agents. Les problématiques

abordées par le formulaire de contact peuvent être résumées en posant des questions suivant : Qui communique, quoi, à qui, quand, pourquoi et comment :

### **Pourquoi les agents communiquent-ils ?**

- Les agents communiquent et interagissent pour synchroniser leurs actions et pour résoudre des conflits (ressources).
- Les agents communiquent pour s'aider mutuellement et pour suppléer aux limites de leurs champs de perception.

### **Quand est ce que les agents communiquent-ils ?**

- Les agents communiquent lorsqu'ils décident de s'aider par une opération coopération.
- Les agents communiquent lorsqu'ils rencontrent un problème qu'ils ne savent pas résoudre.

### **Avec qui les agents communiquent-ils ?**

- Les communications peuvent être sélectives sur un nombre restreint d'agents ou diffusées à l'ensemble d'agents.

### **Comment les agents communiquent-ils ?**

- Les procédures de communication pour véhiculer les messages entre agents sont :

#### **1. Communication indirect :**

Utilisée par les **agents réactifs**.

##### ✓ Communication par environnement :

Les agents laissent des traces ou des indices que d'autres agents verront. Dans ce type de communication, il n'y a pas d'expéditeur bien défini.

##### ✓ Communication par tableau noir :

Communiquer en partageant les informations via une mémoire partagée accessible

à tous les agents.

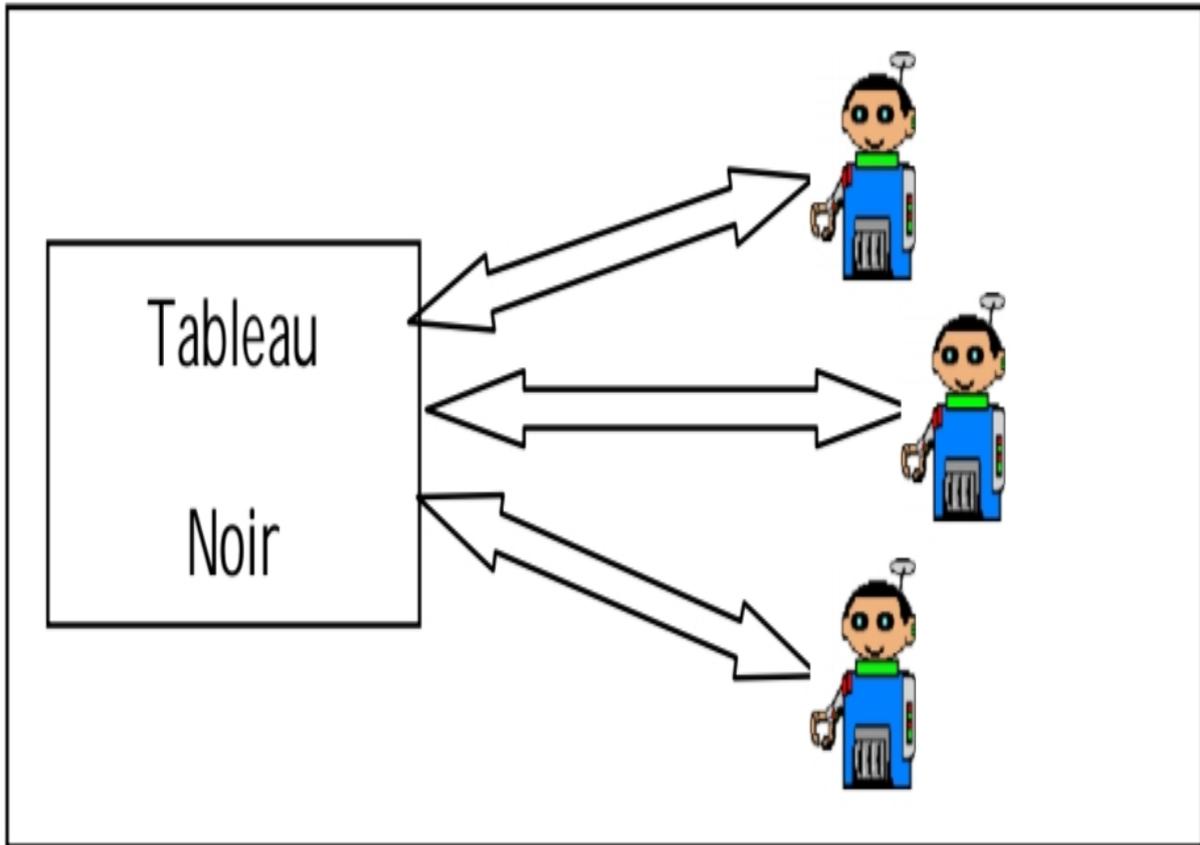


FIGURE 2.3 – Architecture Tableau noir

## 2. Communication direct :

Utilisée par les **agents cognitifs**.

- Ces agents ont des connaissances sur eux-mêmes et sur autrui.
- Ils ont des compétences de communication qui leur permettent d'envoyer des messages à un ou plusieurs agents et d'interpréter les messages reçus de la part des autres agents.

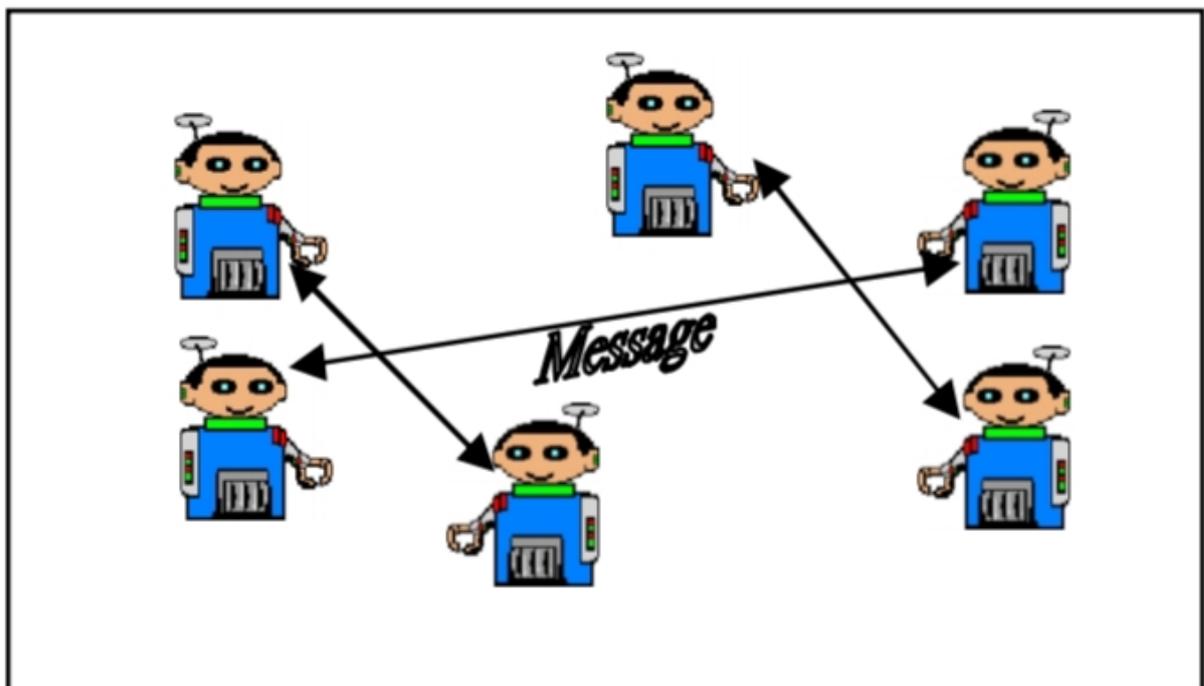


FIGURE 2.4 – Architecture à contrôle distribué

## 2.4 conclusion

Les systèmes multi-agents sont à la croisée des chemins de nombreux autres domaines tels que l'intelligence artificielle distribuée, qui font de ce domaine un vaste domaine de recherche. Le concept de base de ce domaine est le concept d'agent, qui représente une entité indépendante capable de percevoir, d'agir et d'agir sur son environnement.

En plus des avantages déjà mentionnés dans ce chapitre, les caractéristiques du SMA permettent de respecter les standards du génie logiciel dans le développement des systèmes, ce qui explique l'utilisation croissante du SMA dans les systèmes informatiques.

# Modélisation et simulation de modèle

## SHEAQIR

### 3.1 introduction

La modélisation par simulation résout les problèmes du monde réel de manière sûre et efficace. Elle fournit des solutions précieuses en fournissant des informations claires sur des systèmes complexes.

Dans ce chapitre nous allons avoir un modèle pour la modélisation épidémiologie qui simule la réalité pour obtenir les résultats correctement, nous travaillons sur le modèle SHEAQIR (susceptible-rester à la maison- exposé-asymptomatique -quarantaine-infectieux-remis).

Puis on passe à la modélisation au système multi-agent où nous décrirons également des algorithmes décrivant les comportements associés à ce phénomène. Ainsi que le diagramme d'activité et le diagramme de classe de notre système. Ainsi, le diagramme d'état de transition.

## 3.2 Le modèle SHEAQIR :

Dans un premier temps, nous présentons le modèle à simuler par le système multi-agents, qui est basé sur une modélisation partielle, on a choisi le modèle (SHEAQIR) qui simule la situation actuelle du covid-19, qui contient sept variables et il est considéré comme un modèle déterministe non aléatoire et il présente de nombreux avantages.

Selon le formulaire suivant (SHEAQIR) Figure 3.1, chaque personne se trouve dans l'un des compartiments suivants :

**Susceptible  $S(t)$**  : Ce sont des personnes qui n'ont pas la maladie, mais qui risquent de la développer.

**Confinement  $H(t)$**  : Ce sont les personnes qui sont en quarantaine (ce sont les personnes qui sont restées à la maison).

**Exposée  $E(t)$**  : Ce sont les gens qui sont en période d'incubation.

**Asymptomatique  $A(t)$**  : Ce sont les personnes malades, mais elles ne présentent aucun des symptômes du virus.

**Quarantaine  $Q(t)$**  : Ce sont des personnes isolées qui ne peuvent pas communiquer avec d'autres sous-populations.

**Symptomatique  $I(t)$**  : Ce sont les personnes qui ont la maladie et qui portent des signes d'infection (c'est-à-dire qu'elles peuvent infecter des personnes vulnérables si elles entrent en contact avec elles).

**Retirés  $R(t)$**  : Ce sont des personnes qui se sont remises de la maladie et qui ont acquis une immunité naturelle contre le virus.

## 3.3 Description générale du modèle :

Initialement, le premier compartiment  $S$  contient des individus sains qui n'ont pas la maladie, mais qui sont très sensibles à la maladie car leur corps ne porte pas d'anticorps contre le Covid-19. Le deuxième compartiment est le compartiment ( $I$ ), il contient des individus qui présentent des symptômes cliniques de Covid-19.

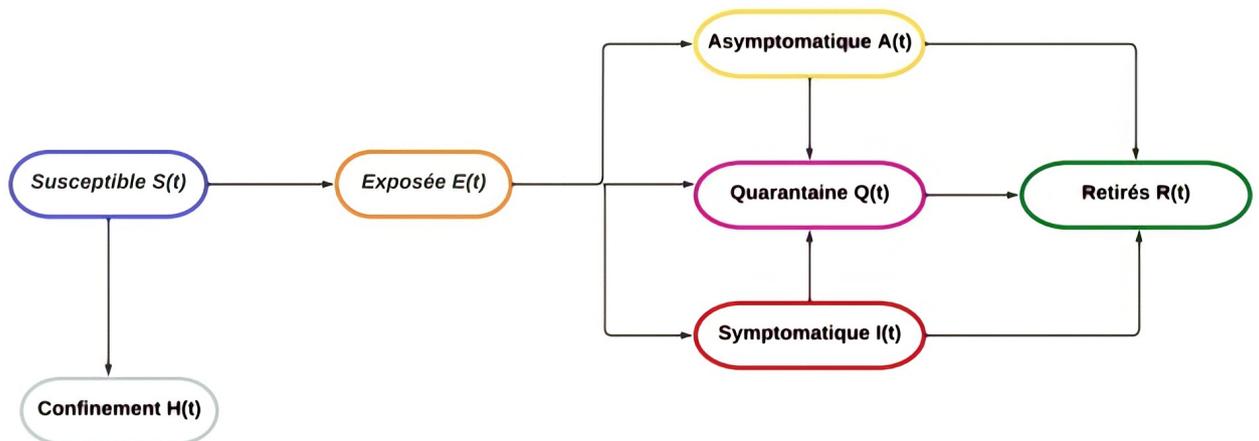


FIGURE 3.1 – Base du modèle d'état SHEAQIR.

### 3.3.1 La transition des individus entre compartiments et leurs interactions :

La figure 3.2 présente un diagramme schématique du modèle cinématique de SHEAQIR qui donne les transitions existantes de l'état des individus et leur transition entre les compartiments.

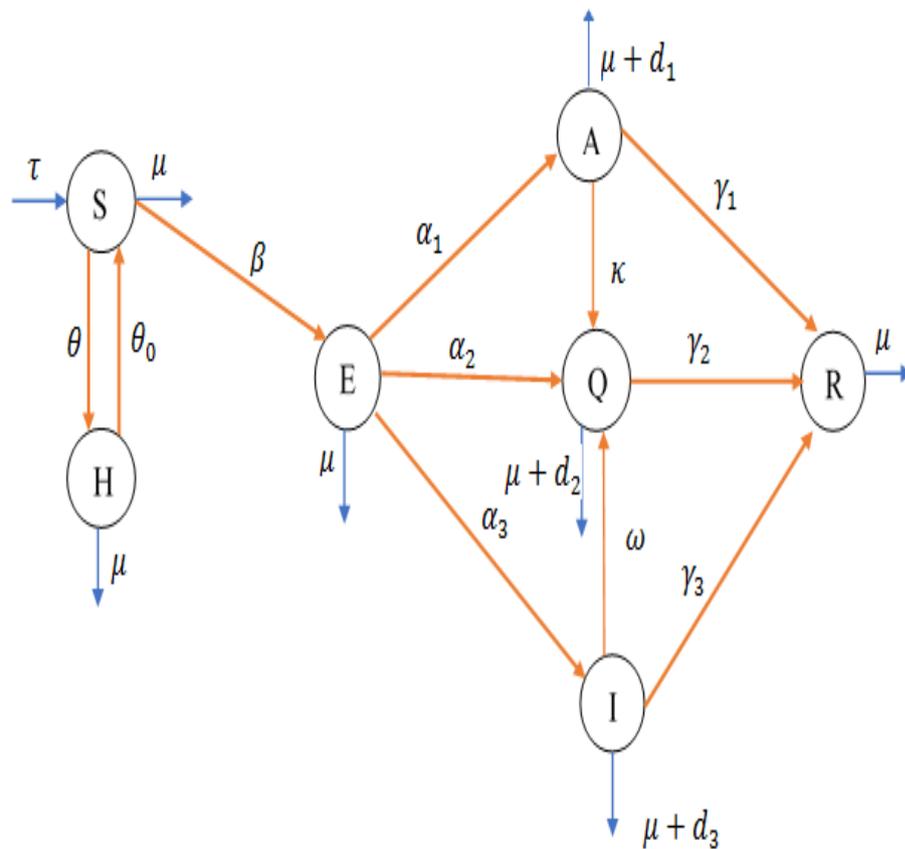


FIGURE 3.2 – une présentation compartimentale du modèle mathématique de transmission de covid 19.

### 3.3.1.1 La population susceptible $S(t)$ et confinement $H(t)$ :

Dans ce compartiment des personnes susceptibles  $S(t)$ , tous individus tiennent compte comme susceptible après sa naissance, en recrutant ces individus entrent avec un taux  $\tau$ . Il en sort des individus susceptibles qui sont sensibilisés par rapport à la propagation de covid 19 avec le taux  $\beta$  pour entrer à la compartiment  $E(t)$  après le processus de l'infection. Comme l'absence d'une vaccination contre ce virus mortel, une grande population des susceptible suit le scénario du verrouillage entrent au compartiment du confinement  $H(t)$  avec une proportion  $\theta$  et à une proportion de  $\theta_0$  rester à la maison n'est pas entière-

### 3.3. DESCRIPTION GÉNÉRALE DU MODÈLE :

---

ment protégés en raison de l'inefficacité du confinement .il en sort aussi les individus qui meurent avec un taux de  $\mu$ .

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = \tau N + \theta_0 H(t) - (\mu + \theta) S(t) - \Lambda(t) S(t) \\ \frac{dH(t)}{dt} = \theta S(t) - (\theta_0 + \mu) H(t) \end{cases} \quad (3.1)$$

Avec la force d'infection :

$$\Lambda(t) = \beta \frac{(\varepsilon I(t) + A(t))}{N} \quad (3.2)$$

#### 3.3.1.2 La population exposée $E(t)$ :

Après l'infection se produit, les susceptibles déplacent au compartiment des personnes exposés  $E(t)$  qui sont infectés non infectieux, c'est une phase où le virus développe dans le corps avec des valeurs extrêmes 2 à 14 jours et en moyennes 5-6 jours. Celui qui son corps a terminé la période d'incubation soit devient Asymptomatique ou bien symptomatique (infectieux avec des symptômes) avec des taux  $\alpha_1$  et  $\alpha_3$  respectivement. Son mort naturel est  $\mu E(t)$ .

$$\frac{dE(t)}{dt} = \Lambda(t) S(t) - (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \mu) E(t) \quad (3.3)$$

#### 3.3.1.3 La population Asymptomatique $A(t)$ :

Le compartiment  $A(t)$  représenté les individus infectés mais n'ont aucun symptôme ou très peu. Elles sont donc très difficiles a été défini mais peuvent néanmoins transmettre la maladie. L'entrée de ce compartiment est caractérisée par les individus de  $E(t)$  suivant le taux  $\alpha_1$  .Sa sortie est constituée d'une part par la mortalité naturelle  $\mu$  et la mortalité

cause de la maladie  $d_1$  d'autre part est vers  $Q(t)$  avec le taux  $\kappa$ . l'évolution vers le compartiment  $R(t)$  avec une proportion  $\gamma_1 R(t)$ .

$$\frac{dA(t)}{dt} = \alpha_1 E(t) - (\mu + d_1 + \gamma_1 + \kappa) A(t) \quad (3.4)$$

#### 3.3.1.4 La population symptomatique $I(t)$ :

Il vient de  $E(t)$  après l'apparition des symptômes cliniques de covid 19. sa sortie est composée par la mortalité naturelle et mortalité causé de corona  $d_3$ , et aussi la fraction  $\gamma_3$  vers le compartiment  $R(t)$  et vers à la quarantaine avec le taux  $\omega$ .

$$\frac{dI(t)}{dt} = \alpha_3 E(t) - (\omega + \gamma_3 + \mu + d_3) I(t) \quad (3.5)$$

#### 3.3.1.5 La population quarantaine $Q(t)$ :

Le compartiment  $Q(t)$  est représenté les individus quarantaines à l'hôpital, son entrée est caractérisé par des personnes de  $A(t)$ ,  $E(t)$ , et  $I(t)$  qui sont isolés selon l'examen clinique appliqué avec des taux  $\kappa, \alpha_2, \omega$ . sa sortie est constituée par la mortalité naturelle  $\mu Q(t)$  et due de virus  $d_2 Q(t)$  et l'évolution vers  $R(t)$  avec un taux  $\gamma_2$ .

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \kappa A(t) + \alpha_2 E(t) + \omega I(t) - (\mu + d_2 + \gamma_2) Q(t) \quad (3.6)$$

#### 3.3.1.6 La population retirés $R(t)$ :

La sous population  $A(t)$ ,  $Q(t)$  et  $I(t)$  sont guéris de la maladie en moyenne de  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  et  $\gamma_3$  respectivement, il en sort les individus retirés, sa sortie est seulement une mortalité naturelle  $\mu$ .

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma_1 A(t) + \gamma_2 Q(t) + \gamma_3 I(t) - \mu R(t) \quad (3.7)$$

Vous trouverez ci-dessous un modèle mathématique de la dynamique de transmission de SHEQAIR pour Covid19 que nous avons utilisé la méthode de **Runge Kutta** d'ordre 4 pour le résoudre numériquement :

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{dS(t)}{dt} = \tau N + \theta_0 H(t) - (\mu + \theta) S(t) - \Lambda(t) S(t) \\
 \frac{dE(t)}{dt} = \Lambda(t) S(t) - (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \mu) E(t) \\
 \frac{dA(t)}{dt} = \alpha_1 E(t) - (\mu + d_1 + \gamma_1 + \kappa) A(t) \\
 \frac{dQ(t)}{dt} = \kappa A(t) + \alpha_2 E(t) + \omega I(t) - (\mu + d_2 + \gamma_2) Q(t) \\
 \frac{dI(t)}{dt} = \alpha_3 E(t) - (\omega + \gamma_3 + \mu + d_3) I(t) \\
 \frac{dR(t)}{dt} = \gamma_1 A(t) + \gamma_2 Q(t) + \gamma_3 I(t) - \mu R(t) \\
 \frac{dH(t)}{dt} = \theta S(t) - (\theta_0 + \mu) H(t)
 \end{array} \right. \quad (3.8)$$

### 3.4 Les principaux paramètres du modèle :

Le modèle **SHEAQIR** contient des paramètres clés, qui sont décrits dans le tableau suivant :[13]

Variable	Description
$\tau$	Le taux de recrutement
$\mu$	Le taux de mortalité naturelle
$\theta$	Le taux des individus susceptibles qui sont en confinement
$\theta_0$	Le taux des individus susceptibles qui restent à la maison à cause d'inefficacité de confinement.
$\beta$	Le taux de transmission des infectés et infectieux aux susceptibles du de contacts entre eux.
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	Le taux de transfert les exposants vers les asymptomatiques, les quarantaines et les infectieux respectivement .
$d_1, d_2, d_3$	Le taux de mortalité de les asymptomatiques, les quarantaines et les infectieux respectivement due à covid 19.
$\kappa, \omega$	Taux auquel les personnes infectées asymptomatiques, symptomatiques respectivement deviennent en quarantaines.

TABLE 3.1 – Paramètres du modèle(3.8) avec interprétations biologiques

### 3.5 Conception de la simulation :

Suivant l'approche de conception basée sur les agents, il est temps de concevoir le comportement des différents agents. Ce phénomène se livre à des comportements collectifs agents. Comme nous l'avons vu, les seule classes d'agents actifs sont le compartiment **S** et le compartiment **I**.

### 3.5.1 Algorithmes des différents phénomènes :

#### 3.5.1.1 Algorithme Déplacement :

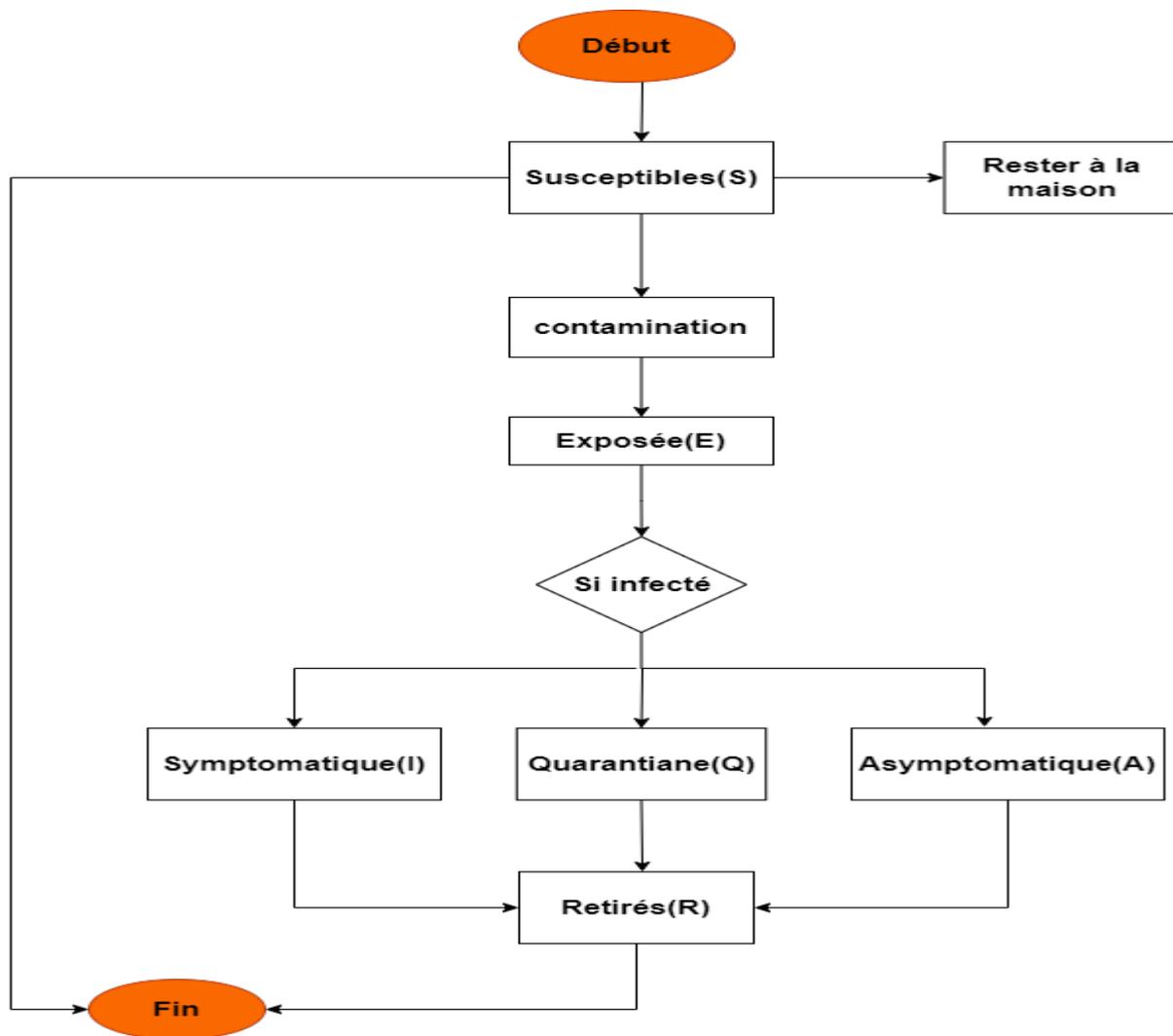


FIGURE 3.3 – Algorithme Déplacement.

Les individus sains sont transférés du compartiment **S** au compartiment **E** après contamination. Les individus suspects sont transférés dans le compartiment **E**. Lorsque l'épidémie est confirmée, ils sont répartis en trois compartiments.

#### **3.5.1.2 Algorithme Propagation :**

covid-19 est similaire aux autres maladies respiratoires dans son mécanisme de propagation, cela signifie un contact physique avec une personne infectée, cependant, le contact avec une personne malade ne signifie pas nécessairement qu'on dit de lui qu'il transmet l'infection à une personne en bonne santé. En effet, si l'infection se situe entre une personne infectée et une personne saine, elle induit une transmission avec une certaine possibilité.

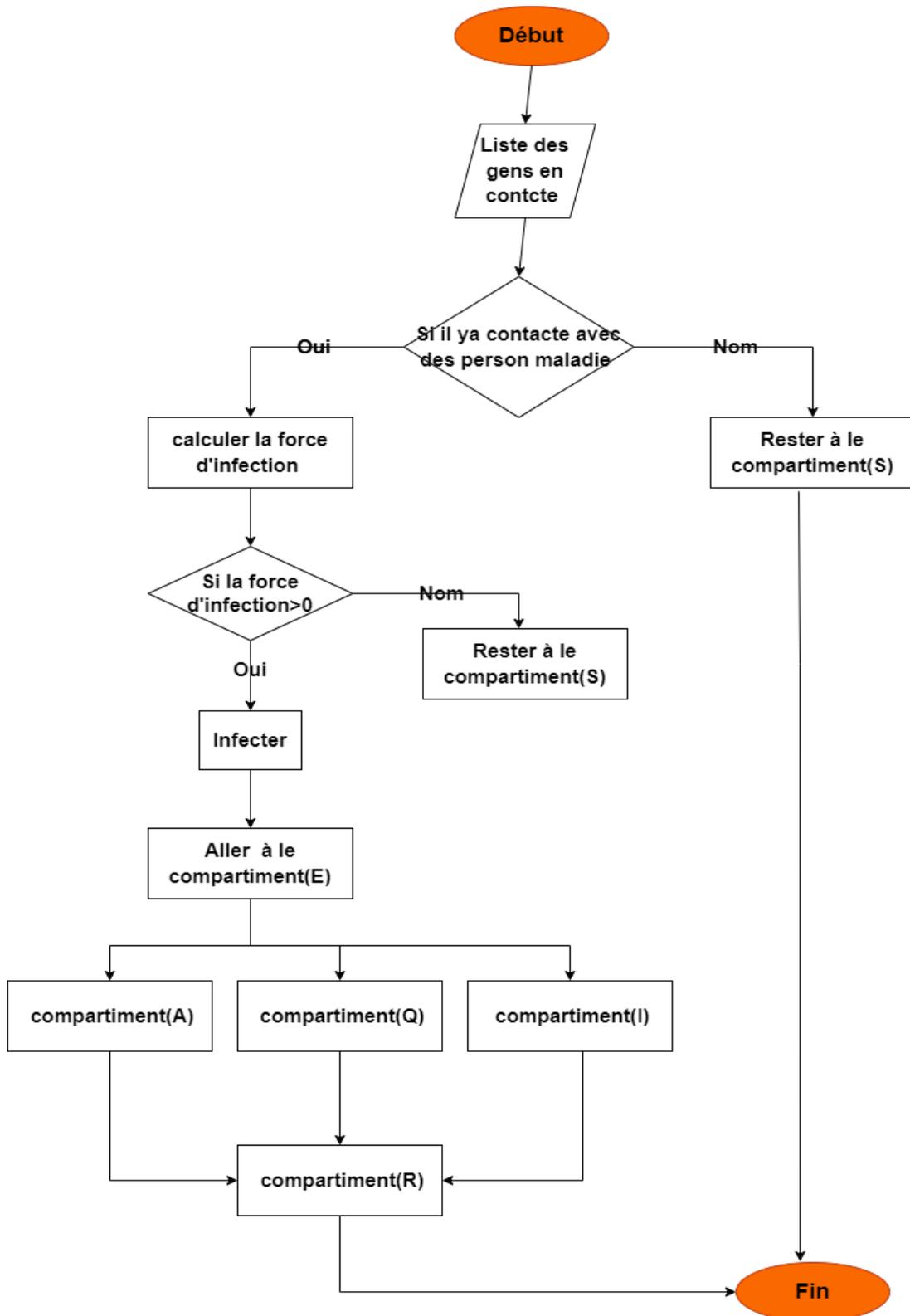


FIGURE 3.4 – Algorithme de propagation.

Nous avons adopté dans cet algorithme La force d'infection afin de faire la distinction

entre les individus sains et les individus infectés.

### **3.5.2 Fonctionnement du système :**

Le système fonctionne dans le mécanisme de boucle :

✓ Appelle la fonction de propagation afin d'identifier de nouveaux cas, en plus déterminer le sort de chaque cas de Covid-19.

✓ Appelle la fonction de mouvement qui détermine le déplacement de chaque agent suivant son état

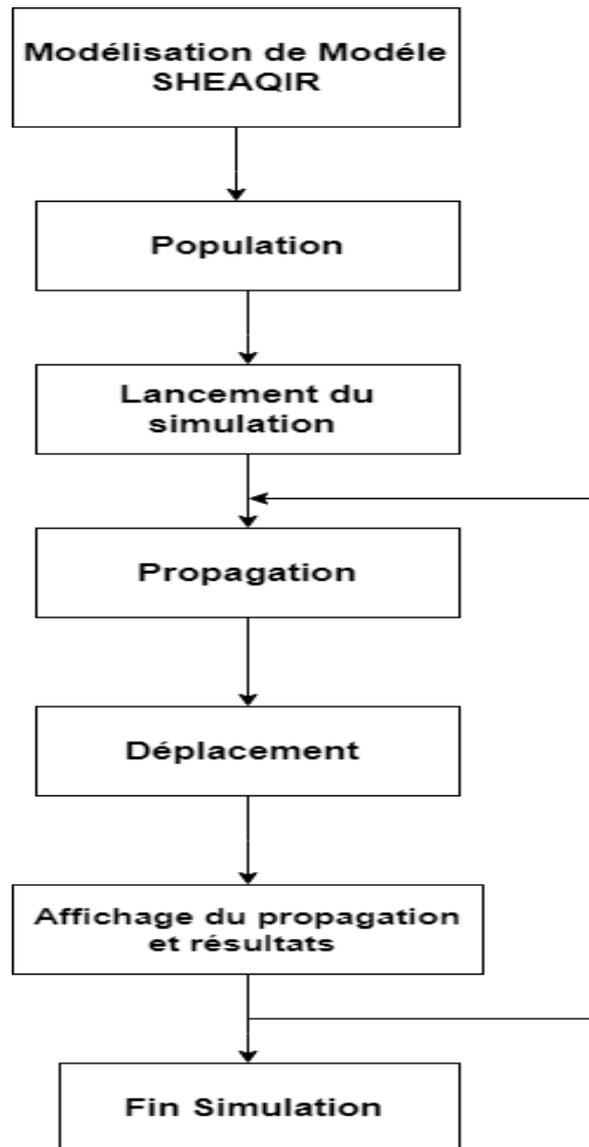


FIGURE 3.5 – Organisation de notre système.

La mise en œuvre que nous avons suivie dans notre travail est identique à cette séquence que nous avons présentée.

### 3.5.2.1 Diagramme de classes de la simulation

Les trois classes actives sont la classe de compartiment **S** et de compartiment **I** et l'Environnement, les autres classes d'agent représentent des éléments de l'environnement mais sans un comportement particulier. Ainsi, il est possible de définir le diagramme de classe qui représente le modèle des données comme suit :

### 3.5. CONCEPTION DE LA SIMULATION :

Classe agent : la base de toutes les autres classes d'agents.

La classe de compartiment S et de compartiment I qui assure le comportement de population.

Les classes inactives qui représentent des lieux dans l'environnement.

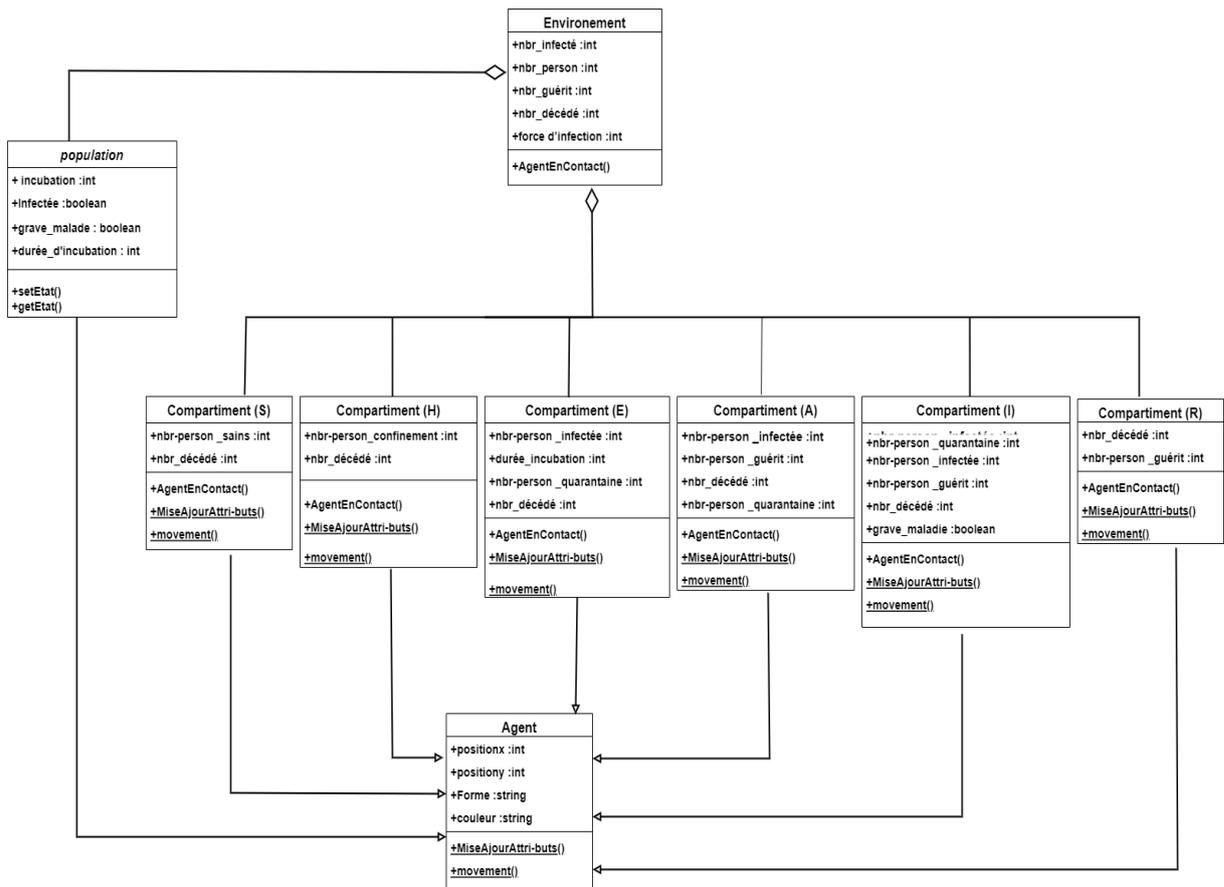


FIGURE 3.6 – Diagramme de classe

### 3.5.2.2 Diagramme d'état transition

Ce diagramme représente les différents cas d'une population.  
 Préparation : Nous avons une communauté d'individus sains et infectés.  
 A la fin de la simulation, nous aurons les deux possibilités suivantes :  
 Les personnes qui se sont remises d'une maladie et les morts.

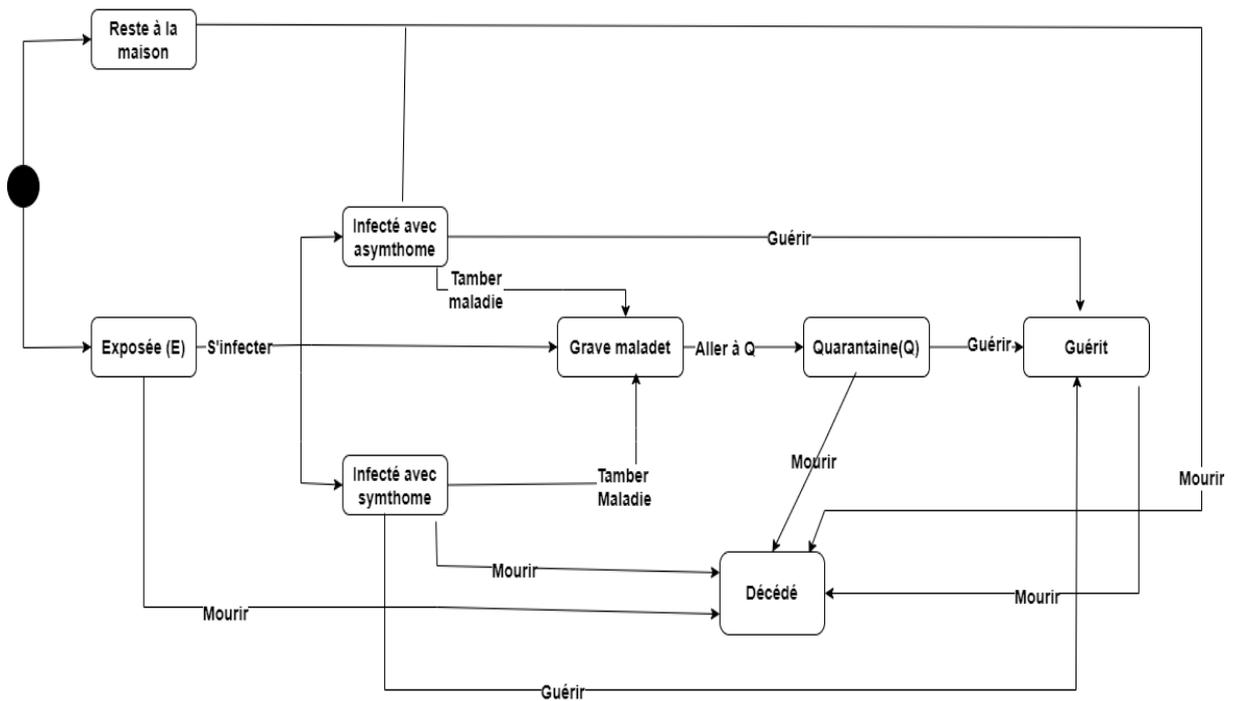


FIGURE 3.7 – Diagramme d'état transition

## 3.6 Conclusion

Le but de la modélisation et de la simulation multi-agents est d'essayer de donner des solutions à des problèmes du monde réel.

Dans ce chapitre, nous avons incarné la modélisation et la simulation multi-agents afin de trouver une solution pour contrôler le Covid-19, nous avons donc parlé du modèle mathématique qui se compose de sept parties d'individus. Enfin, nous simulons ce modèle avec multi-agents.

# Analyse et résultats numériques de modèle de covid 19

## 4.1 introduction

Passons maintenant au dernier chapitre qui explique en détail la mise en place de notre projet. Pour mener à bien ce travail, nous avons utilisé le programme NetLogo, facile à utiliser et à maîtriser. De plus, nous allons montrer quelques captures d'écran de notre application.

## 4.2 Environnement de développement :

Dans cette partie on décrit le matériel sur lequel l'expérimentation a été réalisée ainsi que les logiciels utilisés :

**Matériel :** Le travail de ce projet a été réalisé sur un ordinateur portable (HP EliteBook 2560 P ), qui a les caractéristiques suivantes :

- Micro-processeur : Intel(R) Core (TM) i5-2520M CPU @ 2.50GHz(4CPUs).
- 6Go de RAM.
- Système d'exploitation "Windows 10 Professionnel 64 bits(10.0,build 19044)".

**Logiciel :**

**Description de la plate-forme Netlogo :**

NetLogo est un environnement de modélisation programmable pour simuler des phénomènes naturels et sociaux. Il a été rédigé par Uri Wilensky en 1999 et est en développement continu depuis au Centre d'apprentissage connecté et de modélisation assistée par ordinateur. NetLogo permet aux élèves d'ouvrir des simulations et de « jouer » avec elles, en explorant leur comportement dans diverses conditions. C'est également un environnement de création qui permet aux étudiants, aux enseignants et aux concepteurs de programmes de créer leurs propres modèles. NetLogo est suffisamment simple pour les étudiants et les enseignants, mais suffisamment avancé pour servir d'outil puissant aux chercheurs dans de nombreux domaines.

**4.3 Analyse numérique de modèle :**

Nous sommes très intéressés à examiner les applications étendues et à étudier le modèle proposé sur l'état de l'Algérie. Nous avons les données suivantes obtenues en étudiant le modèle (SHEAQIR) à l'aide de l'algorithme AntyColonyOptimization(ACO).

Paramètres	valeurs	Paramètres	valeurs
$\alpha_1$	0.0117500000000000	$\theta$	0.0000013350000000
$\alpha_2$	0.0000280000000000	$\omega$	0000680000000000
$\alpha_3$	0.0000270000000000	$\kappa$	0.0000000008900000
$\mu$	0.1200000000000000	$\gamma_1$	0.0000000000000014
$d_1$	0.000000000183500	$\gamma_2$	0.0000024000000000
$d_2$	0.9000000000000000	$\gamma_3$	0.8000000000000000
$d_3$	0.0001725000000000	$\beta$	1.0000000000000000
$\theta_0$	0.8200000000000000	$\varepsilon$	0.2000000000000000
$\tau$	0.5800000000000000		

TABLE 4.1 – L'estimation des paramètres

### 4.3. ANALYSE NUMÉRIQUE DE MODÈLE :

---

conditions initiales	valeurs
$s(0)$	42999997
$e(0)$	400000
$a(0)$	0
$q(0)$	0
$i(0)$	3
$r(0)$	0
$h(0)$	0

TABLE 4.2 – les conditions initiales de système(3.8)

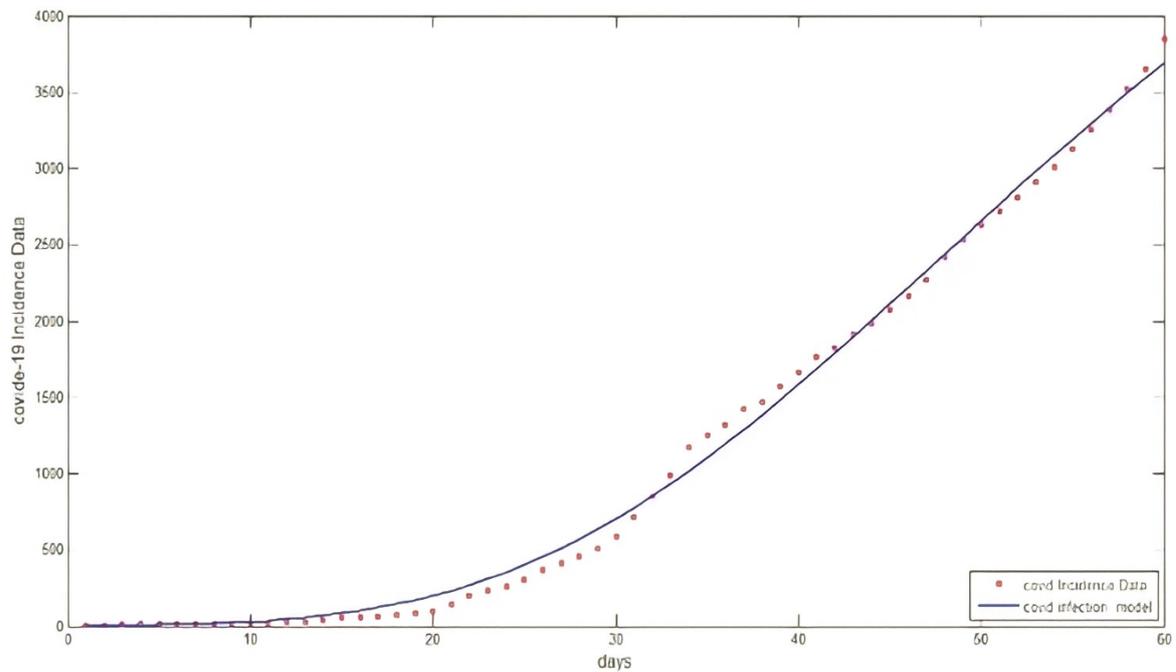


FIGURE 4.1 – : la propagation des infectés en Algérie dans réalité et dans le cas d'utiliser le modèle

Alors que les données obtenues nous ont fourni une excellente simulation qui satisfait aux conditions initiales, car il n'est pas facile de simuler l'épidémie avec sept sections.

1. Impact de taux des Asymptotiques :  $\alpha_1$  :

Comme on peut le voir sur la figure, il existe une relation parallèle entre le nombre de personnes infectées et le taux d'absence de symptômes, ce qui signifie que plus ce taux est élevé, plus le nombre de personnes infectées est élevé. Alors pour contrôler ce taux, l'État doit imposer des tests médicaux pour toute la population.

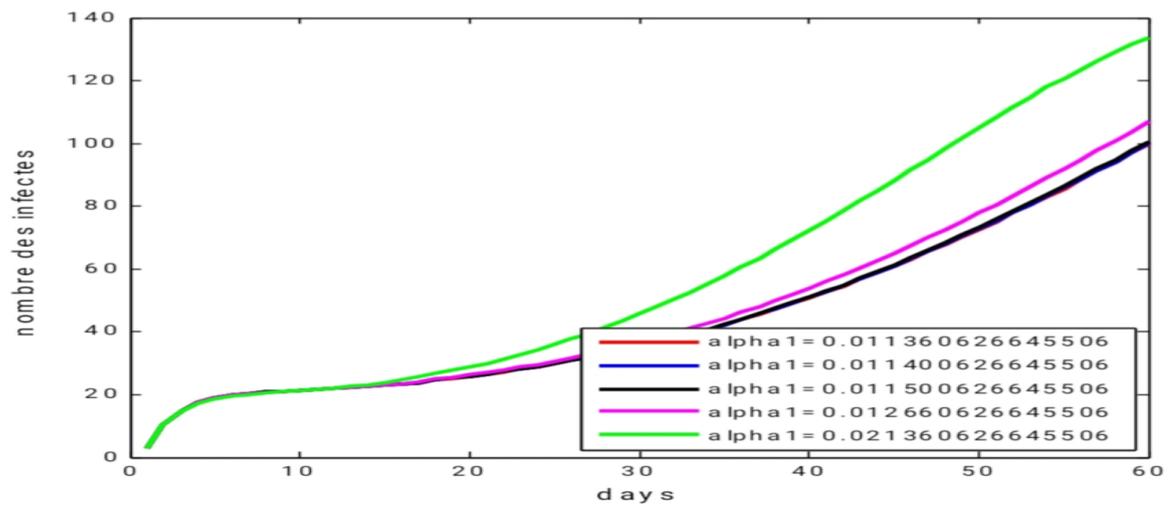


FIGURE 4.2 – Impact de taux des Asymptotiques :  $\alpha_1$

2. Impact des interventions de santé publique :  $\alpha_2$

Comme le montre la figure, il existe une relation inverse entre le taux qui représente interventions de santé publique et l'augmentation du nombre des infectés, car plus ce taux est élevé, la diminution du nombre des infectés, et cela confirme le rôle des interventions sanitaires de la quarantaine et de l'application des règles sanitaires dans la réduction du nombre de patients.

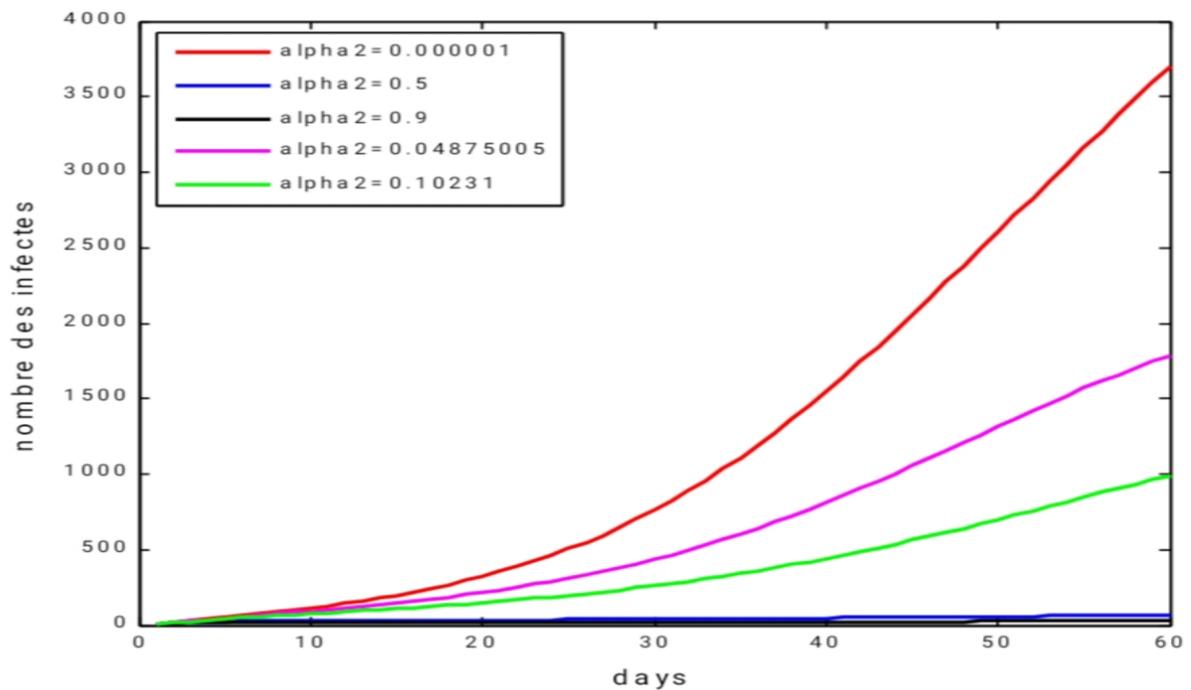
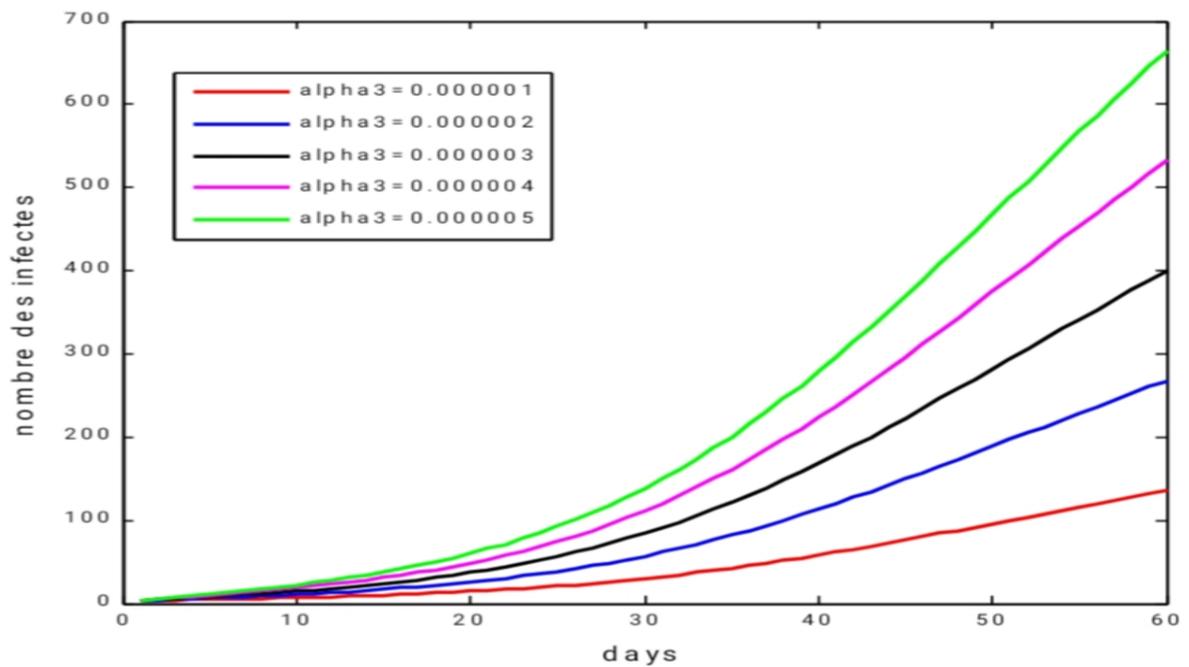


FIGURE 4.3 – : Impact des interventions de santé publique :  $\alpha_2$

### 3. Impact de taux de transfert vers les symptomatiques : $\alpha_3$

Comme nous le notons sur la figure , L'impact de taux de transfert vers les symptomatiques il est presque comme l'impact de taux de transfert vers les Asymptomatiques Étant donné que plus ce taux est élevé, plus le nombre des infectés est élevé, l'État doit donc prendre des mesures strictes concernant les personnes qui présentent des symptômes, comme la quarantaine et l'obligation de porter un masque de protection.

FIGURE 4.4 – : Impact de taux de transfert vers les symptomiques  $\alpha_3$ 

## 4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un certain nombre d'implications de certaines variables, en plus de cela, nous avons essayé autant que possible de vous rapproché de la réalité en montrant les variables qui sont survenues aux agents lors de la modification des données.

## Conclusion et perspectives

**D**ans ce travail, on a essayé de faire une étude sur les modélisations mathématiques pour la propagation d'une maladie, tel que le modèle SHEAQIR qui modélise covid-19 basé sur l'aspect compartimentales. Ensuite, nous avons utilisé le système multi-Agents pour visualiser clairement le comportement de propagation de l'épidémie afin de prendre des mesures préventives pour la lute.

Pour la résolution du modèle mathématique on a utilisé la méthode de runge-kutta d'ordre 4, Cette sélection vise à réaliser une méthode réalisable de manière efficace et ainsi déterminer la meilleure solution à traiter avec le modèle de réalité proposé. Pour la modalisation multi-Agents on utilisé la plate-forme Netlogo qui dispose d'une fonction de journalisation configurable pour étudier le comportement et l'interaction des agents.

D'après les résultats de simulation, on peut dire que l'approche proposée est une approche prometteuse pour plusieurs raisons. Avec cette approche, nous pourrons peut-être suivre les développements que la maladie entraînera, et donc l'intervention sera pour contrôler sa propagation.

# Bibliographie

- [1] G.Sallet , *Modélisation et simulation en épidémiologie* , INRIA & IRD ,2010
- [2] Drogoul .A, *De la Simulation Multi-agents à la Résolution Collective de Problèmes*, Thèse de doctorat, Université Paris VI,23 Novembre 1993.
- [3] Guillaume Hutzler ,Tarek Melliti ,*Intelligence Artificielle Distribuée Systèmes Multi-Agents* ,[http ://www.ibisc.univ-evry.fr/ hutzler/Cours/SMA.html](http://www.ibisc.univ-evry.fr/hutzler/Cours/SMA.html).
- [4] Md.kamrujjaman , Uttam Ghosh and Md.Shahidul Islam ,*Pandemic and the Dynamics of SEIR Model :case COVID-19* ,21 April 2020.
- [5] C Wang, P W Horby, FG Hayden, and G F Gao,*A novel coronavirus outbreak of global health concern*. *Lancet*, 395 :470–473, 2020.
- [6] A E Gorbalenya, S C Baker, R S Baric, R J de Groot, C Drosten, A A Gulyaeva, and et al, *Severe acuterespiratory syndrome-related coronavirus : the species and its viruses - a statement of the Coronavirus Study Group*, bioRxiv, pages 1–20, 2020.
- [7] World Health Organization,*Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it*. [https ://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it) , February 2020.
- [8] World Health Organization,*Statement on the second meeting of the international health regulations (2005). emergency committee regarding the outbreak of novel coronavirus (2019-ncov)*,[https ://www.who.int/news-room/detail/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-](https://www.who.int/news-room/detail/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-)

- (2005)emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-(2019-ncov) , January 2020.
- [9] Sk Shahid Nadima, Indrajit Ghosh , Joydev Chattopadhyaya ,Short-term predictions and prevention strategies for COVID-2019 : A model based study Agricultural and Ecological Research Unit, Indian Statistical Institute, Kolkata - 700 108, West Bengal, India.
- [10] A. DIEMER ,*Modéliser le COVID 19 Défis et perspectives*,université Clermont-Auvergne, France CERDI, Centre d'Excellence Jean Monnet du Développement Durable (ERASME),15 Mars 2020.
- [11] Dejen Ketema . Mamo, *Model the transmission dynamics of COVID-19 propagation with public health intervention* ,a Department of Mathematics, Collage of Natural and Computational Sciences, Debre Berhan University, Debre Berhan,Ethiopia, April 21, 2020.
- [12] Benoudina Lazhar, *Modélisation et simulation basées multi-agents du controle de processus industriels*.
- [13] HADJALI Meriem, *La modélisation mathématique de la dynamique de la transmission du covid 19*,Univ Adrar,2021.