



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE IBN KHALDOUN - TIARET**

# MEMOIRE

Présenté à :

FACULTÉ DES MATHÉMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE  
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

**MASTER**

Spécialité : Génie informatique

Par :

**BEGHALIA Mourad**  
**BENSAADA Haithem**

Sur le thème

---

## **Modélisation et simulation à base des agents de l'épidémie Covid 19**

---

Soutenu publiquement le 28/06/2022 à Tiaret devant le jury composé de :

Mr. ZIOUAL Taher	MAA Université Ibn Khaldoun	Président
Mr. MOKHTARI Ahmed	MAA Université Ibn Khaldoun	Encadrant
Mr. HATTAB Noureddine	MAA Université Ibn Khaldoun	Examinateur

2021-2022

# Remerciement

*Tout d'abord nous remercions Allah, pour la protection et la sagesse qu'il nous donne chaque jour qui passe.*

*La réalisation de cet ouvrage n'a été possible que grâce aux enseignements reçus des enseignants du département d'informatique, université Ibn Khaldoun - Tiaret.*

*C'est donc une occasion pour nous d'adresser des vifs remerciements : M MOKHTARI, notre encadreur, pour ses multiples conseils, sa disponibilité et la formation reçue de sa part.*

*Ainsi que Mr ZIOUAL et Mr HATTAB pour accepter d'évaluer ce modeste travail.*

*Tout le corps enseignant de l'université pour la formation reçue.  
A tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.*

# Dédicace

*Nous dédions ce travail*

*A nos chères mères, et pères qui ont toujours été la pour nous, et qui nous ont  
donné de magnifiques modèles de labeur et de persévérance.*

*A nos familles, les symboles de bonheur et source de tendresse et d'amour.*

*Nous espérons qu'ils trouveront dans ce travail toutes nos reconnaissances et  
tout notre amour*

*A nos frères, sœurs et adorables amis*

# Table des matières

Remerciement

Dédicace

Liste des figures .....	I
Liste des tableaux .....	II
Liste des abréviations .....	III
Introduction Générale.....	1
Des travaux liés.....	2

## Chapitre I : Généralité sur la simulation.

---

1. Introduction .....	6
2. Notion de modélisation .....	6
3. Notion de simulation.....	7
3.1 Pourquoi utiliser la simulation .....	7
3.2 Historique de développement de la simulation .....	8
3.3 Les types de modèle de simulation .....	9
3.3.1 Simulation physique.....	9
3.3.1.1 Simulation analogique .....	9
3.3.1.2 Simulation numérique .....	9
3.3.2 Simulation procédurale.....	10
3.3.3 Simulation situationnelle.....	10
3.3.4 Simulation de processus .....	10
4. Les avantages de Simulation .....	11
5. Les inconvénients et les limites de simulation .....	11
Conclusion .....	12

## Chapitre II : Les systèmes Multi Agent

---

1. Introduction .....	14
2. Simulation a base des agents ( Multi-Agents).....	14
2.1 Agent.....	14
2.2 Les architectures (les types ) des agents .....	15
2.2.1 Agent basé sur la logique .....	16
2.2.2 Agent relatif.....	16
2.2.2.1 Agent à reflex simple.....	16
2.2.2.2 Agent conservant une trace du monde .....	16
2.2.3 Agent délibératif .....	16
2.2.4 Agent BDI ( Belief-Desire-Intention).....	16
2.3 Les environnements.....	18
2.3.1 Environnement social .....	18
2.3.2 Environnement physique .....	18
3. Un System Multi-Agents.....	18
3.1 L'agent et environnement des les SMA .....	20
4. Communication et Interaction .....	22
4.1 La communication .....	22
4.1.1 Les langages de communication dans SMA .....	22
4.1.1.1 Le langage KQML .....	23
4.1.1.2 Le langage FIP ACL .....	23
4.2 L'interaction .....	24
4.2.1 Les Types d'interaction .....	24
5. Les Programmes des SMA s.....	26
5.1 La plate-forme JADE.....	26
5.2 La plate-forme Mace .....	27
5.3 La plate-forme ZEUS.....	28
5.4 La plate-forme MADKIT.....	29
5.5 La plate-forme SWARM.....	29
Conclusion .....	29

## Chapitre III : Modélisation et expérimentation

---

1. Introduction .....	32
2. Les méthodologies de conception des SMA s .....	32
2.1 La méthode voyelles.....	32
2.2 La méthode Aalaadin .....	33
2.3 La méthode AMAS/Adelf .....	34
3. Pourquoi ce choix ? .....	35
4. Les principes de la méthode des voyelles .....	36
4.1 Analyse .....	36
4.2 Conception .....	36
4.3 Implémentation .....	36
5. Présentation de l’outil Greenfoot .....	37
6. Quelque modèle (scénario).....	37
6.1 Le premier modèle .....	37
6.1.1 La situation classique (Environnement ouvert sans mesures de préventives) .....	37
6.1.2 La situation classique (Environnement ouvert avec les mesures de préventives).....	41
6.2 Le deuxième modèle .....	44
6.2.1 La situation avancé (Environnement fermé sans mesures de préventives).....	44
6.2.2 La situation avancé (Environnement fermé avec les mesures de préventives).....	46
7. Tableau comparative.....	48
Conclusion .....	49
Conclusion Générale .....	50

# ***LISTE DES FIGURES***

---

Figure I.1 : Modélisation du system réel .....	6
Figure I.2 : Simulation du system réel .....	7
Figure I.3 : Organigramme de la modélisation et simulation du monde réel .....	8
Figure I.4 : Organigramme de la simulation analogique .....	9
Figure I.5 : Organigramme de la simulation numérique .....	10
Figure II.1: Représentation d'un agent .....	15
Figure II.2 : L'architecture d'un agent BDI .....	17
Figure II.3 : L'agent et son environnement .....	21
Figure III.1: Représentation symbolique de la méthode des Voyelles.....	33
Figure III.2: Représentation de la méthode de Alaadin.....	34
Figure III.3: Représentation de la méthode de AMAS/Adelfe.....	35
Figure III.4: Propagation de l'infection COVID-19.....	38
Figure III.5: Éclosion d'infection COVID-19.....	39
Figure III.6: La courbe de première scénario .....	40
Figure III.7: La modélisation de deuxième scénario.....	42
Figure III.8: La courbe de deuxième scénario .....	43
Figure III.9: La modélisation de troisième scénario.....	44
Figure III.10: La courbe de troisième scénario.....	46
Figure III.11: La modélisation de quatrième scénario.....	47
Figure III.12: La courbe de quatrième scénario .....	49

## ***LISTE DES TABLEAUX***

---

Tableau II.1 : Classification des situations d'interaction.....	25
Tableau III.1 : Les résultats de premier scénario .....	40
Tableau III.2 : Les résultats de deuxième scénario.....	43
Tableau III.3 : Les résultats de troisième scénario.....	45
Tableau III.4 : Les résultats de quatrième scénario.....	48

## ***LISTE DES ACRONYMES***

---

**ACC** : Agent Communication Channel

**ACL** : Agent Communication Language

**ADELFE** : Atelier pour le Développement de Logiciels à Fonctionnalité Emergente

**BDI** : Believe Desire and Intention

**CDSMA** : Classification de diabète à base des Système Multi-Agent

**FIPA** : Foundation for Intelligent Physical Agents

**JADE** : Java Agent Development framework

**IA** : Intelligence Artificielle

**IAD** : Intelligence Artificielle Distribuée

**IAP** : Intelligence Artificielle Parallèle

**KIF** : Knowledge Interchange Format

**KQML** : Knowledge Query and Manipulation Language

**RMA** : Remote Monitoring Agent

**RMI** : Remonte Management Interface

**SMA** : Système Multi-Agent

**Weka** : Waikato Environment for Knowledge Analysis

# **Introduction Générale**

# ***INTRODUCTION GENERALE***

---

## **Introduction Générale**

La modélisation et la simulation en générale permet de créer un prototype qui passe d'un modèle réaliste à un modèle informatique semi-réaliste virtuel. Ce prototype simule les caractéristiques de cette réalité et ses interactions avec l'environnement dans lequel elle est connue pour se développer. Lorsque ce prototype est amélioré en lui appliquant des influences extérieures, on parle de simulation. Nous pouvons utiliser ce principe comme un moyen de contrôler la complexité des systèmes informatiques. Plusieurs classes de stimulation conduisent à recourir à la modélisation et à la simulation. C'est pourquoi il est courant d'utiliser ces méthodes pour découvrir comment le système fonctionne ?, puis pour former et développer ses propres lois de développement ; C'est toute la question de la simulation des phénomènes en informatique.

Nous arrivons à la modélisation dans le domaine de la médecine. Les tâches du simulateur ici sont d'identifier comment l'infection virale se propage chez les personnes avant et après l'application des conditions de prévention chez les personnes. Pouvoir voir son évolution et l'analyser. Dans ce Dans ce cas, le simulateur devient un outil de conception et de validation du système lui-même.

Il apparaît que la simulation multi-agents est la meilleure façon de modéliser ce type de système (systèmes complexes comme l'infection de maladies entre les patients du COVID-19). La simulation multi-agents est un domaine de recherche récent, qui se focalise sur le concept d'agent. Le système Multi-Agent est naturellement adapté pour décrire et simuler un système composé d'entités, et il permet au modèle de véhiculer l'image du système hypothétique plus proche de la réalité. De plus, le système multi-agent est particulièrement adapté pour décrire le système du point de vue de l'activité de ses composants, c'est-à-dire lorsque le comportement des individus est complexe (il est difficile de le décrire avec des équations) , On peut facilement expliquer la modélisation par un observateur humain , car la description par SMA (Système Multi-agent) est plus naturelle que de simples opérations ; Ainsi , la validation par un expert sera simplifiée, car elle peut facilement se rapporter au monde réel.

# ***INTRODUCTION GENERALE***

---

Dans notre sujet, nous sommes nombreux à travers le monde et à nous d'interroger sur la pandémie de COVID-19 et sur les mesures individuelles et collectives mises en œuvre afin de limiter la propagation du virus, notre projet est de répondre, par la modélisation et la simulation, à des questions sur l'épidémie de COVID-19, nous utiliserons la simulation afin de suivre les étapes de la propagation de l'infection par le virus Covid-19 entre les personnes et dans toute la société, cette simulation est centrée sur l'étude et l'application des conditions de prévention qui est déclarer par **OMS** ( **O**rganisation **M**ondiale de la **S**anté ) pour limiter la propagation de l'infection et sur la sensibilisation à la nécessité de les adopter.Ce dernier utilise à rapprocher l'idée des scientifiques en fournissant des informations expérimentales réalistes lors de la simulation a base des agents (Multi-agents) et en suivant leurs déplacements aléatoires et non aléatoires au sein de la société. Il contribue également à ajuster les attentes approximatives afin de lutter contre cette pandémie.

## **Des travaux liés**

Lorsque l'épidémie est apparue, tous les segments de la société ont interagi avec elle, pour l'étudier et découvrir ses causes, Parmi les travaux les plus importants qui ont traité le sujet :

**1/Par Laerdal Medical** : Le Coronavirus (COVID-19) a créé une crise sans précédent dans les services de soins d'urgences et de réanimation.

Afin de vous aider à préparer au mieux vos équipes à affronter ces situations exceptionnelles, Laerdal vous propose 2 scénarios préprogrammés gratuits.

Ces scénarios, exécutables sur un simulateur Laerdal ou sur un patient standardisé a été sont conçus pour vous aider à appréhender les protocoles de contrôle des infections, d'IPC et de gestion de l'exposition au COVID-19 ou à toute autre maladie respiratoire transmissible à haut risque. [web 1]

### **1.1/Scénarios proposés :**

#### **Suspicion de cas Coronavirus (COVID-19) avec Détresse Respiratoire :**

Cas conçu lors de l'épidémie de COVID-19 de janvier 2020, afin d'évaluer et d'améliorer la préparation de l'équipe pour une prise en charge de manière sûre et efficace d'un patient gravement atteint du coronavirus, du triage au SAU jusqu'à l'intubation du patient.

# ***INTRODUCTION GENERALE***

---

Cas: Une femme de 35 ans, avec un coryza, a eu de la fièvre la nuit dernière. Elle s'est réveillée très essoufflée avec une toux productive, de la température (non mesurée), Elle semble avoir un tableau positif à une exposition potentielle au coronavirus en raison de sa fièvre, des symptômes respiratoires et de ses antécédents de voyage à haut risque.

## **Accouchement normal d'une femme présentant les symptômes bénins du Covid-19 :**

Dans ce scénario, une femme enceinte de 28 ans vient d'arriver à la salle de travail. La femme qui ne cesse de tousser, présente de la fièvre ainsi que les symptômes bénins de Covid-19. Ses contractions sont régulières, intenses et la naissance est imminente. À son arrivée, la femme a été soumise à un triage et a été déplacée avec son conjoint dans une salle d'accouchement isolée. Le scénario de simulation débute alors que la femme est sur le point d'accoucher dans la salle d'accouchement. On observe une toux et une apparence fébrile, mais aucune évaluation physique n'a été effectuée.

## **2/Par Xiao Zhang, Delun Sun, Emily Chen, Leonard Jin, Nathan Lo, Star Xie:**

La pandémie de coronavirus COVID-19 est la crise sanitaire mondiale déterminante de notre époque, notre société souffre d'un fardeau de perte presque intolérable et beaucoup d'entre nous réfléchissent à la manière dont nous pourrions contribuer à surmonter cette situation sans précédent. Notre simulation COVID-19 simule l'impact de cette pandémie sur l'humanité et la société et comment différents facteurs peuvent affecter la propagation de COVID-19.[web 2]

## **Objectif:**

Lorsque nous avons décidé pour la première fois de choisir Covid-19 comme sujet de simulation, notre intention était d'éduquer et d'informer l'utilisateur de la façon dont la pandémie actuelle affecte notre vie quotidienne. Tout au long du processus de création, nous avons beaucoup appris sur les détails de ce virus ; comment il se propage et comment il affecte des populations disparates. Nous encourageons nos utilisateurs à lire attentivement nos instructions et introductions avant de commencer à regarder la simulation pour mieux comprendre comment fonctionne exactement la simulation afin d'avoir une perception plus approfondie de ce virus Covid 19. Nous espérons qu'après avoir regardé notre simulation, notre public pourra être plus

# ***INTRODUCTION GENERALE***

---

conscient de la gravité de ce virus et agir de manière responsable pour aider à arrêter la propagation de Covid-19.

Dans ce travail on présenterait l'approche de simulation multi-agent et ses avantages pour la gestion de diverses crises. On insiste sur les différentes utilisations possibles de la simulation lors de telles crises, depuis la prédiction de leur évolution, au test de stratégies de réponses. on se focaliserai ainsi plus particulièrement sur quelques questions posées par l'épidémie de COVID-19 et la réponse que nous sommes pu y apporter grâce à des simulateurs interactifs.

Pour implémenter notre simulateur des épidémies de CIVID-19 par les systèmes Multi-Agents, nous avons utilisé le simulateur Greenfoot pour l'implémentation qui se base sur la notion d'organisation (modèle organisationnel).

Notre mémoire se compose de trois chapitres organisés de la façon suivante:

Le premier chapitre : constitue les concepts de base de la modalisation et la simulation.

Le deuxième chapitre : concerne les systèmes Multi-agents et la simulation Multi-agents

Le troisième chapitre : une implémentation de simulation Multi-agents (SMA), Et des captures sur le fonctionnement de l'application.

# ***Chapitre I***

***Généralité sur la simulation***

## 1. Introduction

D'instinct, nous utilisons la modélisation en tout et tout le temps : pour chaque objet (humain - animal ...), qu'il s'agisse d'objets physiques, de personnes ou d'institutions, nous attendons une image mentale qui nous permette d'anticiper son comportement. Où nous exécutons des simulations pour évaluer les résultats et prendre des décisions.

Dès le début, l'homme a prêté attention aux relations, à l'ordre et à la symétrie de son environnement. Pour décrire ces relations et ces structures, ces régularités et ces symétries, notamment dans le domaine de l'informatique, on utilise le langage mathématique. Toutes les lois de la nature sont exprimées sous forme d'équations. Le comportement d'un phénomène, un changement d'état, s'explique par des relations.

## 2. Notion de modélisation

La modélisation c'est une représentation d'un objet, en taille réduite ou sur ordinateur, pour comprendre son fonctionnement. Par extension, élaboration d'un concept servant à comprendre en simplifiant par généralisation une théorie scientifique ou sociale [1].

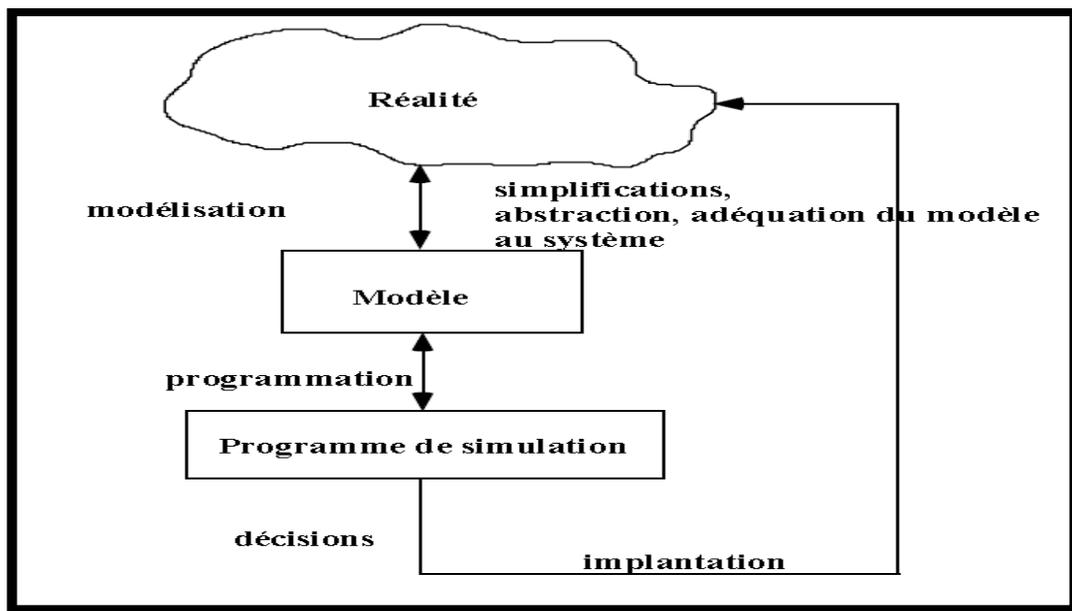


Figure I.1 : Modélisation du system réel [1].

### 3. Notion de simulation

La simulation est une technique de modélisation du monde réel, le modèle mathématique d'un système étant l'ensemble des relations mathématiques caractérisant les états possibles du système. Elle consiste à évaluer numériquement le modèle pour tenter d'en décrire le comportement. Si la représentation du système réel par le modèle abstrait est suffisamment précise, on peut reporter sur le système réel les résultats obtenus sur le modèle abstrait [2].

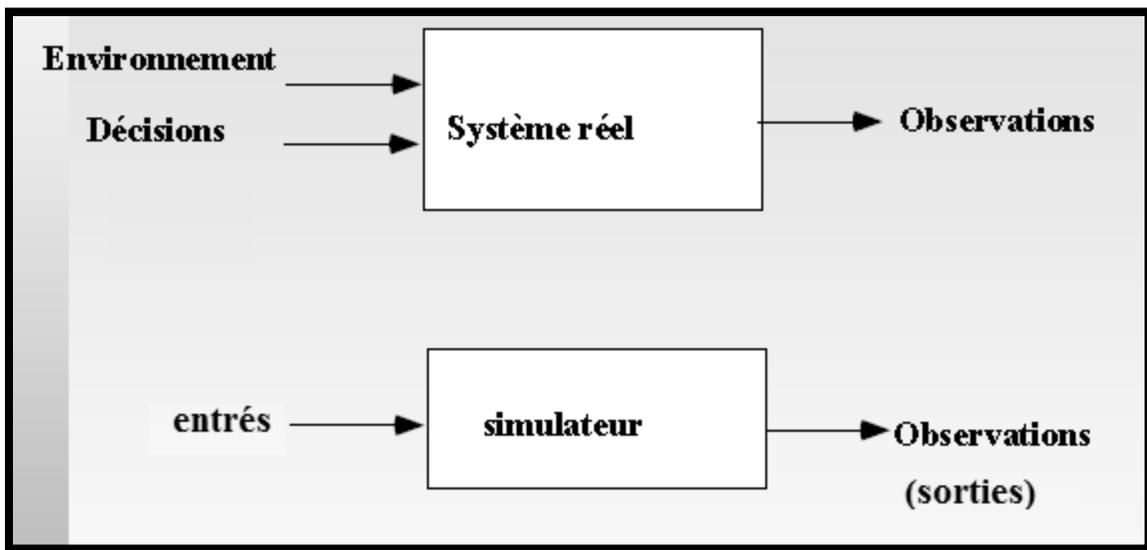


Figure I.2 : simulation du system réel [2].

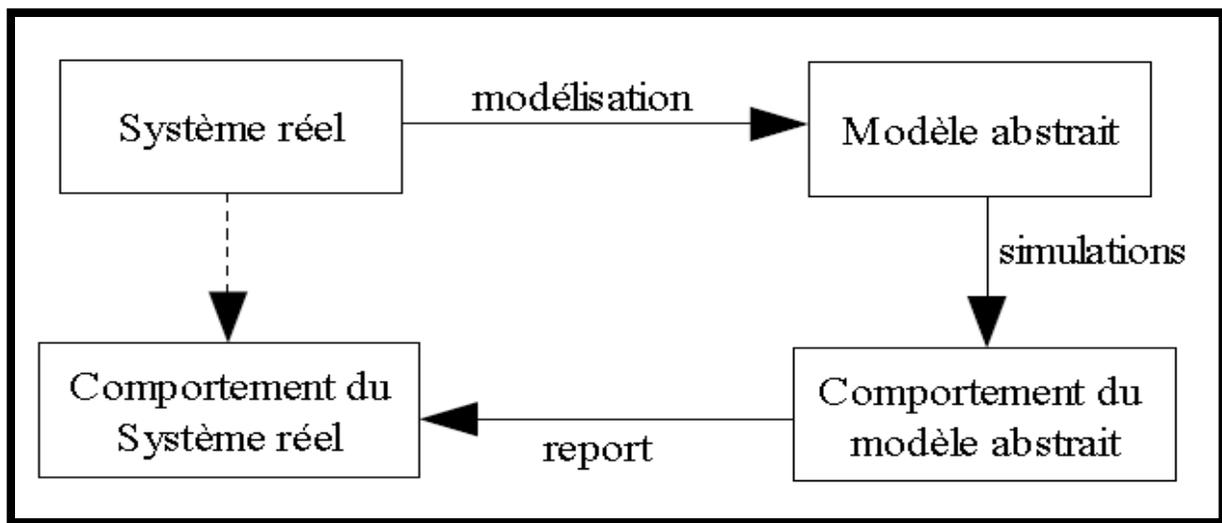
#### 3.1. Pourquoi utiliser la modélisation par simulation ?

La modélisation de simulation permet de résoudre des problèmes concrets de façon sûre et efficace. Il s'agit d'une méthode d'analyse importante et qui est facile à vérifier, à communiquer et à comprendre. Quels que soient les secteurs et les disciplines, la modélisation de simulation offre des solutions précieuses en permettant d'avoir une vision claire de systèmes complexes.

La modélisation de simulation consiste à expérimenter en utilisant la représentation numérique valide d'un système. Contrairement à la modélisation physique, par exemple la reproduction à l'échelle d'un bâtiment, la modélisation de simulation se fait par informatique et utilise des algorithmes et des équations. Le modèle d'un système est dynamique et peut être analysé pendant son exécution et même être visualisé en 2D ou en 3D .

La simulation informatique est utilisée dans les entreprises lorsqu'il est impossible ou peu pratique de réaliser des expériences sur un système réel, en raison du coût ou d'un manque de temps.

La capacité d'analyse du modèle pendant son exécution distingue la modélisation de simulation par rapport à d'autres méthodes, comme par exemple celles qui utilisent Excel ou la programmation linéaire. Grâce à cette capacité d'inspection des processus et d'interaction avec un modèle de simulation en action, développer la compréhension et la confiance rapide [2].



**Figure I.3 : Organigramme de la modélisation et simulation du monde réel [2].**

### **3.2. Historique de développement de la simulation**

**Années 1930 :** 1 ers travaux sur un ordinateur digital.

**Années 1940 :** 1 ers simulations sur ordinateur : Neumann et Ulam ont résolu des problèmes concernant des boucliers nucléaires qui étaient trop dangereux et chers à expérimenter et trop compliqués pour être étudiés analytiquement [3].

**Années 1950 :** 1 ers travaux de simulation sur le transport sur les autoroutes.

**Années 1960 et 1970 :** développement des modèles de simulation.

**En 1981 :** Les modèles de simulation du trafic sont tellement développés aux Etats-Unis qu'une conférence spéciale est tenu à ce sujet et conduite par le Conseil de recherche sur les transports.

## 3.3. Les types de modèle de simulation

La simulation peut être divisée en quatre types, comme suit :

**3.3.1 - Simulation Physique :** Ce genre concerne le traitement d'objets physiques en vue de leur utilisation, tels que : faire fonctionner un voltmètre, piloter un avion, utiliser des outils et des produits chimiques.

**3.3.1.1. Simulation analogique :** Un simulateur analogique est un outil logiciel servant à simuler la fonction à partir de grandeurs d'entrées ou de sorties analogiques.

- Maquettes d'avions en soufflerie
- Modèles homéostatiques électriques
- Modèles climatologiques

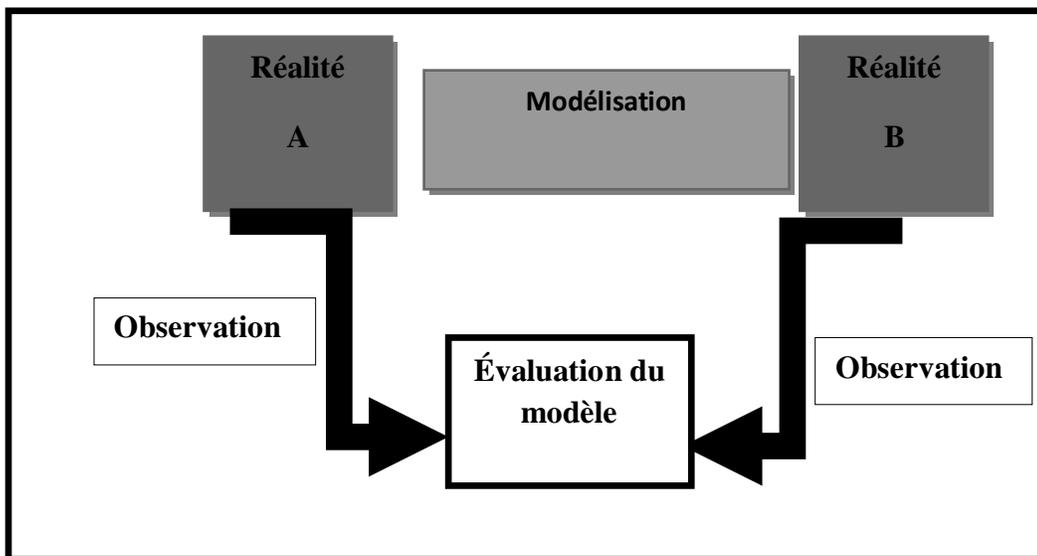


Figure I.4 : Organigramme de la simulation analogique [web 3].

**3.3.1.2. Simulation numérique :** La simulation numérique est l'incarnation de phénomènes physiques complexes rendue possible par une suite d'opérations arithmétiques et un modèle mathématique centré sur des équations aux dérivées partielles. La méthode la plus utilisée est la méthode des éléments finis. C'est le moyen de simuler virtuellement un produit dans son environnement final et de répondre aux multiples défis de l'industrie comme anticiper les risques de conception, réduire le prototypage ou encore encourager l'innovation. [ web 3 ]

- Modèles continus.
- Modèles discrets.
- Modèles microscopiques (MI).
- Modèles mésoscopiques (ME).
- Modèles macroscopiques (MA).
- Modèles déterministes.
- Modèles stochastiques.

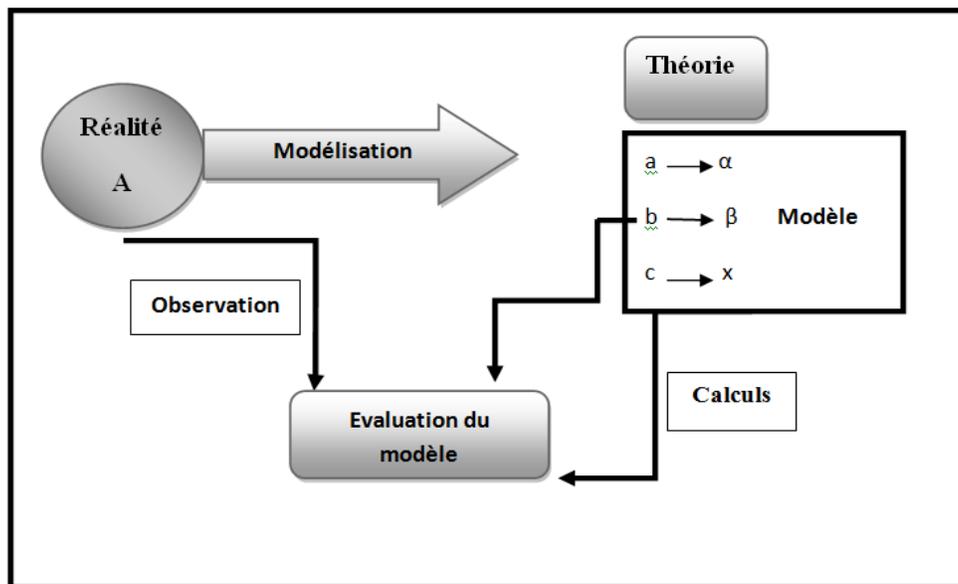


Figure I.5 : Organigramme de la simulation numérique [web 3].

**3.3.2 - Simulation procédurale :** Ce type de simulation vise à apprendre une série d'actions ou d'étapes, comme s'entraîner aux étapes de fonctionnement d'une machine ou d'un appareil, ou diagnostiquer certaines maladies dans le domaine de la médecine.

**3.3.3 - Simulation situationnelle :** Ce type diffère de la simulation procédurale, où l'apprenant a un rôle clé dans le scénario qui se présente, et pas seulement l'apprentissage de règles et de stratégies comme dans les types précédents. Le rôle de l'apprenant est de découvrir des réponses appropriées aux situations par la répétition de la simulation.

**3.3.4 - Simulation de processus :** Dans ce type, l'apprenant ne joue aucun rôle dans la simulation, il est plutôt un observateur extérieur et un expérimentateur. À une époque où

l'apprenant ne peut pas voir les électrons ou le mouvement et la vitesse de la lumière, il peut voir que dans les simulations pratiques, qui lui facilitent la perception de tels concepts.

#### **4. Les Avantages de la simulation**

- Peut être expérimenté en laboratoire sans nécessiter une approche essai-erreur sur le terrain.
- Peut être expérimenté avec de nouvelles situations qui n'existent pas encore aujourd'hui.
- Peut donner une idée des variables importantes et de leurs relations.
- Fournit des informations sur les séquences spatiales et temporelles, pas seulement les centres et les variances.
- Le système peut être étudié en temps réel, en temps compressé ou en temps étendu.
- Des simulations potentiellement peu sécuritaires peuvent être réalisées sans risques pour les usagers du système.
- Il est possible de copier les conditions de base pour effectuer équitablement des comparaisons entre les différentes alternatives d'amélioration.
- Il est possible d'étudier les conséquences d'un changement sur l'opération du système.
- Peut réaliser des procédures de file d'attente interactives.
- Peut transférer des files d'attentes non résolues d'une période de temps à une autre.
- La demande peut varier à travers le temps et l'espace.
- Des conditions d'arrivée et de départ non habituelles qui ne suivent pas des distributions mathématiques traditionnelles peuvent être modélisées. [web 4 ]

#### **5. Les Inconvénients et les limites de la simulation**

- Il peut exister des solutions plus faciles pour résoudre le problème. Il faut considérer toutes les alternatives possibles.
- La simulation demande du temps et de l'argent. Il faut faire attention de ne pas mal estimer ces derniers.
- Les modèles de simulation exigent un nombre considérable de données et de caractéristiques d'entrée qui peuvent être difficiles voire impossibles à obtenir.

- Les simulations nécessitent une validation, un calibrage et une validation qui rendent le modèle inutile s'il n'est pas effectué avec soin.
- Le développement d'un modèle de simulation exige des connaissances dans un grand nombre de disciplines, y compris la théorie d'écoulement du trafic, la programmation, les probabilités, la prise de décision et l'analyse statistique.
- La simulation n'est possible que si le développeur comprend parfaitement le système.
- Le modèle de simulation peut être difficile à comprendre pour les personnes qui n'ont pas développé le programme en raison du manque de documentation.
- Certains utilisateurs peuvent appliquer le modèle sans chercher à comprendre son fonctionnement et ce qu'il représente.
- Certains utilisateurs peuvent appliquer le modèle sans connaître et apprécier les limites.
- Modèle équationnel à grand nombre de paramètres, différent des théories utilisées en biologie, sociologie, etc.
- Difficulté du passage micro/macro, impossibilité de représenter des niveaux différents.
- Pas de représentation des comportements mais de leurs résultats (nb de descendants, quantité de nourriture, etc..). [web 5]

## Conclusion

A la fin de ce premier chapitre, nous extrayons l'historique de chacune de modélisation et de simulation, et les étapes de leur développement sur une certaine période de temps, Donc la simulation est une méthode nécessaire au monde informatique, Cette dernière va faciliter d'avoir une bonne visualisation des épidémies du COVID-19, Alors elle aide pour faire des synthèses correctes et pour améliorer la recherche scientifique, La simulation en générale est une approche très importante au monde de la recherche scientifique, toutes d'abord en utilise cette dernière dans tous les problèmes complexes.

# ***Chapitre II***

***La simulation Multi-agent***

***(SMA)***

## **1. Introduction**

Depuis longtemps, les systèmes multi-agents ont été appliqués pour la résolution de problèmes complexe et réel. En effet, l'évolution des domaines d'application a investi des univers complexes et hétérogènes tels que l'aide à la décision, parmi ces problèmes complexes ils y a l'intelligence artificielle, systèmes informatiques distribués, génie logiciel etc.... . Le thème des systèmes multi-agents, s'il n'est pas récent, est actuellement un champ de recherche très actif. C'est une discipline qui s'intéresse aux comportements collectifs produits par les interactions de plusieurs entités autonomes et flexibles appelées agents, que ces interactions tournent au tourde la coopération, de la concurrence ou de la coexistence entre ces agents. Dans ce chapitre on présente les notions d'agents et de systèmes multi-agents, et détaille par la suite les travaux sur les SMA. Les systèmes multi-agents, ils ne permettent pas le partage ou la distribution des connaissances, mais ils font coopérer un ensemble d'agents et lier leurs interactions pour compléter un but commun.

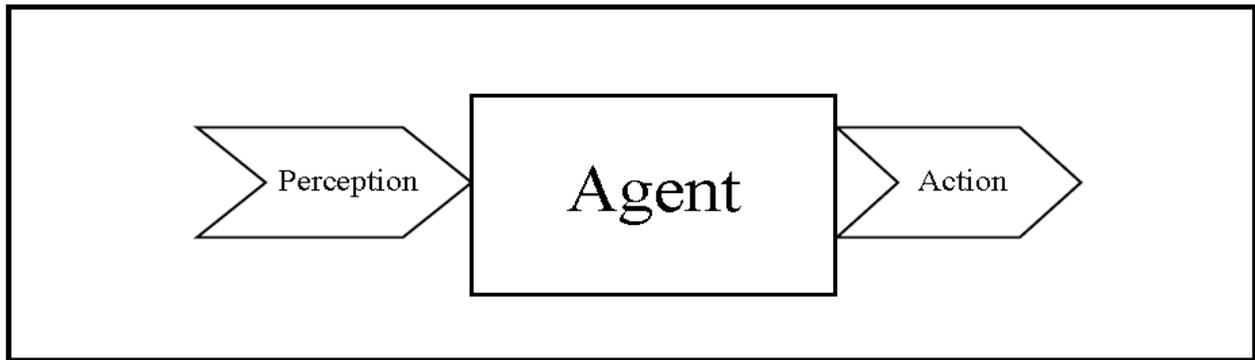
## **2. Simulation a base des agents (Multi-agents)**

### **2.1. Agent**

Une définition d'un agent donné par J Ferber est : « On appelle agent une entité physique ou virtuelle » [4].

- a. qui est capable d'agir dans un environnement.
- b. qui peut communiquer directement avec d'autres agents.
- c. qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser).
- d. qui possède des ressources propres.
- e. qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement.
- f. qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune).
- g. qui possède des compétences et offre des services.
- h. qui peut éventuellement se reproduire.

i. dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.



**Figure II.1: Représentation d'un agent [4].**

Donc un agent est une entité **physique**, il s'agit d'un objet du monde réel. Un robot, un avion une voiture sont des exemples d'entités physiques. En revanche, un composant logiciel, un module informatique sont des entités **virtuelles**, car elles n'existent pas physiquement.

Nous concluons qu'un agent est un programme, un objet matériel ou même un être humain qui a la responsabilité d'accomplir une tâche ou un objectif particulier par lui-même. L'indépendance est une caractéristique essentielle d'un agent, c'est-à-dire qu'il doit vivre seul dans son environnement et doit ensuite décider- en fonction de ses compétences - comment il doit agir [4].

## **2.2. Les architectures (les types) des agents :**

L'agent se caractérise principalement par la manière dont il a été représenté et par ses actions, ou plutôt par ses composantes et son comportement. La structure correspond au point de vue du concepteur, qui peut se résumer par la manière dont les différentes parties de l'agent sont structurées pour qu'elles accomplissent les actions qu'on attend d'elles. Plusieurs types de facteurs.

Ainsi la structure de l'agent caractérise sa structure interne, c'est-à-dire le principe d'organisation qui sous-tend l'agencement de ses différentes composantes [4].

### **2.2.1. Agent basé sur la logique**

Cette architecture est basée sur une représentation symbolique de l'environnement, ainsi que des actions que l'agent doit entreprendre. Puis une suite de déductions logiques qui permettent de faire la liaison entre les perceptions (qui sont déjà représentées symboliquement), et les actions qui conviennent.

### **2.2.2. Agent réactif**

Un agent réactif est un agent qui réagit aux changements de l'environnement en suivant des règles de correspondance directes entre un ensemble de perceptions et un ensemble d'actions. On peut trouver deux modèles de conception d'agents réactifs :

#### **2.2.2.1. Agents à reflex simple**

Ce type d'agent réagit seulement en fonction de ses perceptions actuelles, il utilise des règles de la forme : **Si** condition **Alors** action.

#### **2.2.2.2. Agents conservant une trace du monde**

A la différence du type précédent, ce type d'agent considère en plus de la perception de ses capteurs, des informations sur comment le monde évolue, et l'impact des actions de l'agent sur son environnement sont aussi prises.

Un tel agent doit avoir un mécanisme qui (en fonction de l'historique de son environnement) permet de distinguer deux situations ayant des perceptions identiques, mais qui sont en réalité différentes.

### **2.2.3. Agent délibératif**

Un agent délibératif est un agent qui fait une suite de délibération pour choisir ses actions, soit en se basant sur les buts, soit en utilisant une fonction d'utilité.

### **2.2.4. Agent BDI (Belief-Desire-Intention)**

BDI est l'acronyme de Belief-Desire-Intention qui signifie en français de croyances, désires, intention. Donc le comportement d'un agent BDI est basé sur ces trois concepts [4].

Un agent BDI est composé de :

1. **Un ensemble de croyances courantes** : représentent les informations que l'agent maintient sur son environnement.
2. **Une fonction de révision de croyances** : permet de mettre à jour les croyances de l'agent en fonction de ses croyances précédentes et de l'état actuel de l'environnement.

3. **Une fonction de génération des options** : elle détermine les options disponibles actuellement à l'agent (ses désires, ou encore les choix des actions à entreprendre).
4. **Un ensemble d'options courantes** : qui sont les désires ou les alternatives possibles pour l'agent.
5. **Une fonction de filtre** : c'est le processus de délibération de l'agent qui en fonction de croyances, désires, et intentions actuels de l'agent génère les nouvelles intentions.
6. **Un ensemble d'intentions courantes** : C'est le centre d'attention actuel de l'agent, c'est les objectifs qu'il essaye d'atteindre.
7. **Une fonction de sélection des actions** : cette fonction détermine les actions à effectuer en se basant sur les intentions actuelles de l'agent.

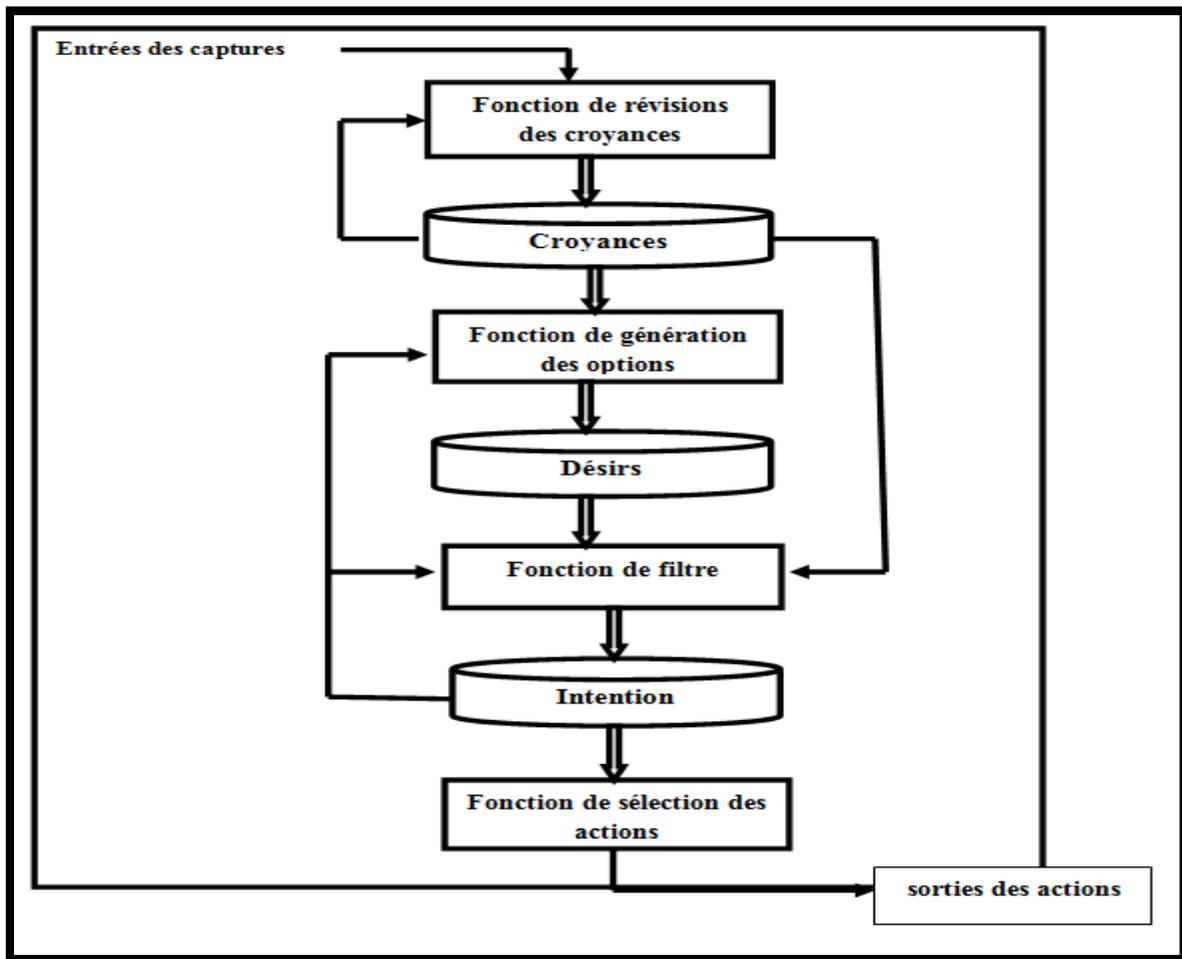


Figure II.2 : L'architecture d'un agent BDI[4].

**2.3. Les environnements**

L'environnement est un élément important dans les systèmes multi-agents. Il sert de support aux agents pour agir et interagir entre eux et à son travers. Dans la littérature, les auteurs définissent plusieurs types d'environnement : environnement social, spatial, culturel, de communication, etc. Nous donnons ici seulement les définitions d'un environnement spatial (ou physique) et d'un environnement social.

**2.3.1. Environnement Social :** un environnement social désigne une structure organisée en termes de rôles, groupes, sociétés, qui définit des contraintes et des règles comportementales pour les agents [5].

**2.3.2. Environnement Physique :** un environnement physique est un environnement spatial dans lequel des agents sont immergés. Ces agents peuvent se déplacer, percevoir et agir dans cet environnement [5].

**3. Un système multi agents**

On appelle système multi-agent (ou SMA), un système composé des éléments suivants [6]

1. Un environnement (E), c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
2. Un ensemble d'objets (O). Ces objets sont situés, c'est-à-dire que, pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans (E). Ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents.
3. Un ensemble (A) d'agents, qui sont des objets particuliers ((A) inclut (O)), lesquels représentent les entités actives du système.
4. Un ensemble de relations (R) qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.
5. Un ensemble d'opérations (Op) permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de (O).
6. Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers.

Donc un système multi agents (SMA) est une sorte de société d'un ensemble d'agents qui coopèrent pour un but commun, qu'un agent ne peut pas le faire seul.

Il y a plusieurs tentatives pour la définition des agents et des systèmes multi-agents. La situation est comparable en quelque sorte avec celle rencontrée quand les scientifiques ont essayé de définir

la notion d'intelligence artificielle. Pourquoi a-t-il été si difficile de définir l'intelligence artificielle (et nous nous doutons même maintenant d'avoir réussi à donner une définition exacte) et pourquoi est-il si difficile de définir les systèmes d'agents, quand d'autres concepts de l'informatique, comme ceux d'objet et orienté-objet, calcul distribué, etc., n'ont pas rencontré une si grande résistance à être définis.

Une réponse possible est que la notion d'agent, ainsi que celle d'intelligence artificielle, sont émergées des humains et de la société humaine. Il est évidemment difficile de modéliser ou de simuler le comportement spécifique inspiré de la société humaine dans des programmes informatiques. Des recherches anciennes tentent de développer des programmes informatique (ou plus précisément d'intelligence artificielle) pour émuler le comportement d'un être humain intelligent, dont le but était de créer un système artificiel ayant les mêmes capacités qu'une personne intelligente. Bien que les recherches actuelles aient été orientées vers la simulation du comportement collectif des sociétés humaines dans leur environnement, comment ils réagissent, comment ils résolvent des problèmes de plus en plus complexes par la distribution des tâches ou comment ils élargissent leurs performances par la coopération ou la compétition.

La résolution coopérative de problèmes prend une place prépondérante dans les recherches en intelligence artificielle distribuée (IAD). Le domaine des systèmes multi-agents (SMA) est un domaine de recherche relativement complexe, dérivé de l'IAD. La thématique SMA se focalise sur l'étude des comportements collectifs et sur la répartition de l'intelligence sur des agents plus ou moins autonomes, capables de s'organiser et d'interagir pour résoudre des problèmes complexes.

A la différence de l'Intelligence Artificielle (IA) qui modélise le comportement intelligent d'un seul agent, l'intelligence artificielle distribuée (IAD) s'intéresse à des comportements intelligents qui résultent de l'activité coopérative de plusieurs agents. Suite à la distribution de l'expertise sur un ensemble de composants qui communiquent pour atteindre un objectif global ou résoudre un problème, il est nécessaire de diviser le problème en sous problèmes. Cette division n'est pas toujours aisée car beaucoup de problèmes ne peuvent pas être divisés. Ainsi une extension des systèmes d'IAD est proposée : les composants doivent être capables de raisonner sur les

connaissances et les capacités des autres dans le but d'une coopération effective. Pour ce faire, ils doivent être dotés de capacités de perception et d'action sur l'environnement et doivent posséder une certaine autonomie de comportement, on parle alors d'agents et par conséquent de système multi-agents.

### **3.1. L'agent et Environnement dans les systèmes Multi-agents**

L'environnement est un aspect très important dans l'étude des systèmes multi agents, puisque dans cet environnement ils vivent, ils le perçoivent à travers ces capteurs et agit sur lui à travers ses effecteurs [7].

Donc un agent doit avoir une bonne modélisation de son environnement assez complète pour pouvoir agir efficacement. Mais elle ne peut aucunement être complète due à la nature des environnements et des problèmes à résoudre avec tels systèmes.

Bien que les environnements sont différents, et il y a beaucoup de critères qui entrent dans leurs propriétés, il est difficile d'avoir une liste exhaustive de leurs caractéristiques. Une classification des environnements est celle de Russell et Norvig [7].

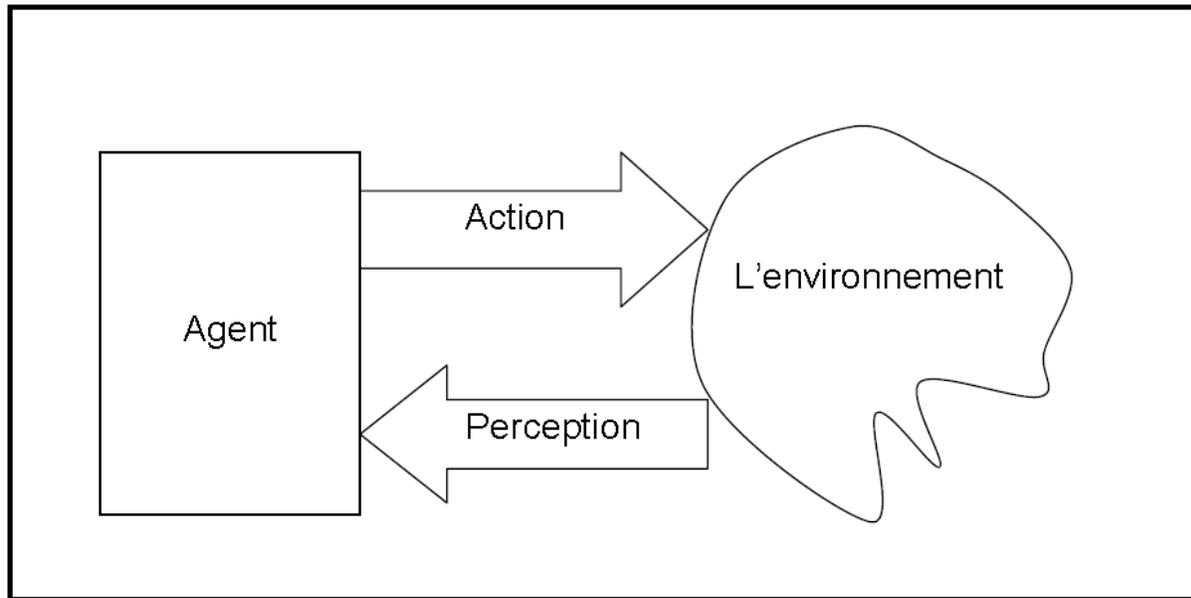
- **Accessible vs inaccessible.** Un environnement est accessible si l'agent peut avoir une vue complète, exacte et actualisée sur l'état de l'environnement. Et la plupart des environnements réels ne sont pas accessible dans ce sens.

- **Déterministe vs non déterministe.** Un environnement est déterministe si toute action sur cet environnement a un seule effet, c à d qu'il n y a pas une ambiguïté sur l'état qui résulte après l'achèvement d'une action.

- **Statique vs dynamique.** Un environnement est statique s'il est supposé inchangé sauf par les actions de l'agent. Par contre un environnement dynamique peut avoir des changements au-delà de la portée de l'agent.

- **Discret vs continu.** Un environnement discret est un environnement où les perceptions de l'agent et ses actions sont au nombre limité à l'inverse d'un environnement continu.

A travers cette classification on peut considérer un environnement idéal comme étant accessible, déterministe, statique et discret, mais en réalité que les environnements existant possèdent toutes ces caractéristiques d'une manière plus ou moins différente.



**Figure II.3 : L'agent et son environnement [7].**

On peut classer les agents selon leurs interactions avec son environnement entre des agents **purement communicants** et des agents **purement situés** [7].

Un agent purement communicant est un agent qui n'a pas une perception de son environnement, et il n'agit pas directement sur cet environnement, comme par exemple il s'agit des agents mobiles.

Un agent purement situé est quant à lui différent des autres agents par le fait qu'il ne possède pas une perception des autres agents, ces agents ne communiquent pas directement avec les autres agents mais indirectement à travers ses perceptions et actions sur l'environnement.

## **4 .Communication et interaction dans les systèmes Multi-agents (SMA)**

**4.1. La Communication :** Les communications, dans les systèmes multi agents comme chez les êtres humains, sont à la base des interactions et de l'organisation. Une communication peut être définie comme une forme d'action locale d'un agent vers d'autres agents. Les questions abordées

par un modèle de communication peuvent être résumées par l'interrogation suivante : « qui communique quoi, à qui, quand, pourquoi, et comment ? » [4]

· **Pourquoi les agents communiquent-ils ?** La communication doit permettre la mise en œuvre de l'interaction et par conséquent la coopération et la coordination d'actions.

· **Quand les agents communiquent-ils ?** Les agents sont souvent confrontés à des situations où ils ont besoin d'interagir avec d'autres agents pour atteindre leurs buts locaux ou globaux. La difficulté réside dans l'identification de ces situations. Par exemple, une communication peut être sollicitée suite à une demande explicite par un autre agent.

· **Avec qui les agents communiquent-ils ?** Les communications peuvent être sélectives sur un nombre restreint d'agents ou diffusées à l'ensemble des agents. Le choix de l'interlocuteur dépend essentiellement des accointances de l'agent (connaissances qu'a l'agent sur les autres agents).

· **Comment les agents communiquent-ils ?** La mise en œuvre de la communication nécessite un langage de communication compréhensible et commun à tous les agents. Il faut identifier les différents types de communication et définir les moyens permettant non seulement l'envoi et la réception de données mais aussi le transfert de connaissances avec une sémantique appropriée à chaque type de message.

#### **4.1.1. Les langages de communication dans les SMA s**

Pour coopérer, les agents ont besoin de la communication entre eux. Comme pour les êtres humains les agents ont besoin d'un langage commun pour rendre une conversation possible. L'utilisation d'un langage commun implique que tous les agents comprennent son vocabulaire sous tous ses aspects concernant [4].

**La syntaxe**, qui précise le mode de structuration des symboles.

**La pragmatique** pour pouvoir interpréter les symboles.

**L'ontologie** pour pouvoir utiliser les mêmes mots d'un vocabulaire commun.

Il existe un certain nombre de langages qui permettent la communication entre les agents dont on va parler sur deux qui sont le KQML et FIPA ACL.

- Les langages sont :

**4.1.1.1. Le langage KQML :** « Knowledge Query and Manipulation Language » (KQML) est un langage "extérieur" de haut niveau pour les agents, il est orienté vers l'échange des messages, indépendant de la syntaxe et de l'ontologie du contenu des messages[8].

Le langage KQML est indépendant aussi du mécanisme de transport (TCP/IP, e-mail,... etc.) et du langage utilisé pour coder le contenu des messages ( Prolog, STEP, SQL, KIF... etc.).

**4.1.1.2. Le langage FIPA ACL :** FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*) organisation qui a été créée en 1996 [8].

Parmi ses préoccupations, une place importante concerne l'élaboration des spécifications du langage de communication entre agents FIPA-ACL. Ayant une syntaxe similaire à KQML le langage s'appuie sur la définition de deux ensembles:

- 1/ Un ensemble d'actes de communication primitifs, auquel s'ajoutent les autres actes de communication pouvant être obtenus par la composition des ces actes de base.
- 2/ Un ensemble de messages prédéfinis que tous les agents peuvent comprendre.

FIPA-ACL possède 21 actes communicatifs, exprimés par des performative, qui peuvent être groupés selon leur fonctionnalité de la façon suivante :

1. Passage d'information : inform\*, inform-if (macro act), inform-ref (macro act), confirm\*, disconfirm\*
2. Réquisition d'information : query-if, query-ref, subscribe.
3. Négociation : accepte-proposal, cfp, propose, reject-proposal.
4. Distribution de tâches (ou exécution d'une action) : request\*, requestwhen, request-whensoever, agree, cancel, refuse.
5. Manipulation des erreurs : failure, not-understood.

En FIPA-ACL il n'existe pas de primitives de gestion ni de facilitation.

### 4.2. L'interaction

Une des principales propriétés de l'agent dans un SMA est celle d'interagir avec les autres agents. Ces interactions sont généralement définies comme toute forme d'action exécutée au sein du système d'agents et qui a pour effet de modifier le comportement d'un autre agent. Elles

permettent aux agents de participer à la satisfaction d'un but global. Cette participation permet au système d'évoluer vers un de ses objectifs et d'avoir un comportement intelligent indépendamment du degré de complexité des agents qui le composent.

En général, les interactions sont mises en œuvre par un transfert d'informations entre agents ou entre les agents et leur environnement, soit par perception, ou bien par communication. Par la perception, les agents détiennent la connaissance de changement de comportement d'un tiers au travers du milieu. Par la communication, un agent fait un acte délibéré de transfert d'informations vers un ou plusieurs autres agents.

Le degré de complexité des connaissances nécessaires pour traiter les interactions dépend des capacités cognitives (de raisonnement) de l'agent et du fait que l'agent a ou non une connaissance de l'objectif du système global. En effet, un agent qui poursuit un objectif individuel au sein du système comme c'est le cas pour les agents dits réactifs ne focalise pas son énergie pour interagir avec les autres même s'il y est amené. Par contre, un agent qui participe à la satisfaction du but global du système tout en poursuivant un objectif individuel, va passer une partie de son temps à coopérer ou à se coordonner avec les autres agents. Pour cela, il doit posséder des connaissances sociales qui modélisent ses croyances sur les autres agents.

#### **4.2.1. Les types d'interaction :**

Dans les systèmes multi agents, la communication est l'un des moyens utilisés pour échanger des informations entre agents (ex. plans, résultats partiels, buts, etc.). La capacité de communiquer et, par conséquent, de coopérer des agents s'appuient sur un fond commun d'aptitudes aussi complexes que la perception, l'apprentissage, la planification et le raisonnement. On retrouve ainsi dans la résolution de problèmes des situations d'interaction et des stratégies coopératives non déterministes, difficiles à interpréter et parfois non complètement reproductibles. L'équilibre entre l'autonomie des agents, dotés d'un comportement plus ou moins intelligent, et la convergence vers un objectif global caractérise l'interaction.

L'interaction constitue donc à un niveau d'abstraction supérieur à la notion de communication et d'action. Le problème est alors de savoir combiner ces éléments (communications et actions) afin

de coordonner et de contrôler les échanges entre plusieurs agents pour avoir un comportement collectif cohérent du système.

Plusieurs types d'interaction ont été définis et analysés à travers divers composantes.

J Ferber donne une classification des situations d'interaction abordées selon le point de vue d'un observateur extérieur. Cette classification présente les différentes situations d'interaction que l'on retrouve en fonction des objectifs des agents (compatibles ou incompatibles), des ressources dont ils disposent (suffisantes ou insuffisantes) et de leurs compétences pour la résolution d'un problème [4].

Buts	Ressources	Compétences	Situation
Compatibles	Suffisantes	Suffisantes	Indépendance
Compatibles	Suffisantes	Insuffisantes	Collaboration simple
Compatibles	Insuffisantes	Suffisantes	Encombrement
Compatibles	Insuffisantes	Insuffisantes	Collaboration coordonnée
Incompatibles	Suffisantes	Suffisantes	Compétition individuelle pure
Incompatibles	Suffisantes	Insuffisantes	Compétition collective pure
Incompatibles	Insuffisantes	Suffisantes	Conflits individuels pour des ressources
Incompatibles	Insuffisantes	Insuffisantes	Conflits collectifs pour des ressources

**Tableau II.1 : Classification des situations d'interaction[4].**

Il aboutit ainsi à une première typologie des situations d'interactions : indépendance, collaboration simple, encombrement, collaboration coordonnée, compétition individuelle pure, compétition collective pure, conflit individuel, conflits collectifs. Le tableau 1 met en évidence l'influence de trois critères (objectifs, compétences, ressources) sur la situation d'interaction induite. En l'occurrence, la compatibilité des objectifs induira des situations de coopération dès que les ressources ou les compétences sont insuffisantes.

## **5. Les programmes des systèmes Multi-agents**

Il y a deux grands groupes de méthodologies pour le développement orienté agent. Le premier groupe étend ou adapte les méthodologies orientées objet pour mettre en œuvre les caractéristiques des agents. Beaucoup de méthodologies orientées objet sont utilisées pour développer des systèmes multi agents dans le domaine industriel avec succès, Cependant les extensions et les modifications des méthodologies orientées objet doivent prendre en compte les différences qui existent entre les objets et les agents. Pour le deuxième groupe, il part des méthodologies qui ont été dédiées à la modélisation des systèmes à bases de connaissances.

On peut aussi trouver un certain nombre de plateformes dédiés au développement de systèmes multi agents, dont certain logiciels libres, la plus connue est JADE. On va présenter quelque unes entre eux.

### **5.1. La plate-forme JADE**

JADE (Java Agent Développent Framework) est une plate-forme multi-agents développée en Java par CSELT (Groupe de recherche de Gruppo Telecom, Italie) qui a comme but la construction des systèmes multi-agents et la réalisation d'applications conformes à la norme FIPA. JADE comprend deux composantes de base : une plate-forme agents compatible FIPA et un paquet logiciel pour le développement des agents Java [9].

Le but de JADE est de simplifier le développement des systèmes multi-agents en conformité avec la norme FIPA pour réaliser des systèmes multi-agents interopérables. Pour atteindre ce but, JADE offre la liste suivante de **caractéristiques** au programmeur d'agents

**\*/La plate-forme multi-agents compatible FIPA** : qui inclut le Système de Gestion d'Agents (AMS), le Facilitateur d'Annuaire (DF), et le Canal de Communication entre Agents (ACC). Ces trois agents sont automatiquement créés et activés quand la plate-forme est activée.

**\*/La plate-forme d'agents distribuée** : La plate-forme d'agents peut être distribuée sur plusieurs hôtes, à condition qu'il n'y ait pas de pare-feu entre ces hôtes. Une seule application Java, et donc une seule Machine Virtuelle Java, est exécutée sur chaque hôte. Les agents sont implémentés comme des threads d'exécution Java et les événements Java sont utilisés pour la communication efficace et légère entre agents sur un même hôte. Un agent peut exécuter des tâches parallèles et JADE planifie ces tâches d'une manière plus efficace (et même plus simple pour le programmeur) que la planification faite par la Machine Virtuelle Java pour les threads d'exécution.

\*/**Un certain nombre de DF** (Facilitateurs d'Annuaire) : compatibles FIPA qui peuvent être activés quand on lance la plate-forme pour exécuter les applications multi-domaines, où la notion de domaine est la notion logique décrite par le document FIPA97 dans sa Partie 1.

\*/ **Une interface de programmation** : pour simplifier l'enregistrement de services d'agents avec un ou plusieurs domaines de type DF.

\*/ **Le mécanisme de transport et l'interface** : pour l'envoi et la réception des messages.

\*/ **Le protocole IIOP** compatible avec le document FIPA97 pour connecter des plates-formes multi-agents différentes.

\*/ **Le transport léger de messages ACL** : sur la même plate-forme d'agents. Dans le but de simplifier la transmission, les messages internes (sur la même plateforme) sont transférés codés comme des objets Java et non comme des chaînes de caractères. Quand l'expéditeur ou le récepteur n'appartient pas à la même plate-forme, le message est automatiquement converti à/du format de chaîne de caractères spécifiés par la FIPA. De cette façon, la conversion est cachée au programmeur d'agents, qui a seulement besoin de traiter la classe d'objets Java.

\*/ **Une bibliothèque de protocoles** : d'interaction compatibles FIPA.

- ❖ **L'enregistrement automatique d'agents** : dans le Système de Gestion d'Agents (AMS).
- ❖ **Un service d'attribution de noms compatible FIPA** : quand on lance la plate-forme, un agent obtient un identificateur unique (Globally Unique Identifier - GUID).
- ❖ **Une interface graphique utilisateur** pour gérer plusieurs agents et platesformes multi-agents en partant d'un agent unique. L'activité de chaque plateforme peut être supervisée et enregistrée.

### **5.2. La plate-forme Mace**

MACE est le premier environnement de conception et d'expérimentation de différentes architectures d'agents dans divers domaines d'application. Dans MACE, un agent est un objet actif qui communique par envoi de messages. Les agents existent dans un environnement qui regroupe tous les autres agents et toutes les autres entités du système. Un agent peut effectuer trois types d'actions : changer son état interne, envoyer des messages aux autres agents et envoyer des requêtes au noyau MACE pour contrôler les événements internes. Chaque agent est doté d'un moteur qui représente la partie active de l'agent. Ce moteur détermine l'activité de l'agent et la façon dont les messages sont interprétés. MACE a été utilisé pour développer des simulations d'applications distribuées [10].

**5.3. La plate-forme ZEUS**

ZEUS est une plate-forme multi-agents conçue et réalisée par British Telecom (Agent Research Programme of BT Intelligent Research Laboratory) pour développer des applications collaboratives. ZEUS est écrit dans le langage Java et il est fondé sur les travaux de la FIPA. L'architecture des agents regroupe principalement les composantes suivantes

- Une boîte aux lettres et un gestionnaire de messages qui analyse les messages de la boîte aux lettres et les transmet aux composantes appropriées.
- Un moteur de coordination.
- Un planificateur qui planifie les tâches de l'agent en fonction des décisions du moteur de coordination, des ressources disponibles et des spécifications des tâches .
- Plusieurs bases de données représentant les plans connus par l'agent, les ressources et l'ontologie utilisée.
- Un contrôleur d'exécution qui gère l'horloge locale de l'agent et les tâches actives.

L'environnement comporte trois bibliothèques : une avec des agents utilitaires, une avec des outils pour la construction des agents, et une autre avec des composants agents.

ZEUS met un fort accent sur la méthodologie de développement, fondée sur la notion de rôle. ZEUS a été utilisé pour développer plusieurs applications réelles comme les ventes aux enchères et la simulation de la fabrication des ordinateurs. Les caractéristiques des domaines d'applications de ZEUS ont été définies par les concepteurs; parmi ces caractéristiques, on peut mentionner :

- Chaque agent crée un plan qui nécessite un raisonnement explicite pour atteindre son but ;
- La résolution de problèmes nécessite une coopération entre agents ;
- Le rôle de chaque agent consiste à contrôler un système externe qui réalise une tâche du domaine d'application, la résolution de problème est ainsi effectuée par ce système externe et contrôlée par les agents [11].

**5.4. La plate-forme MADKIT**

MADKIT est une plate-forme développée par le Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier (LIRMM) de l'Université Montpellier II. MADKIT est libre pour l'utilisation dans l'éducation. Il est écrit en Java et est fondé sur le modèle organisationnel Alaadin. Il utilise un moteur d'exécution où chaque agent est construit en partant d'un micro-

noyau. Chaque agent a un rôle et peut appartenir à un groupe. Il y a un environnement de développement graphique qui permet facilement la construction des applications [12].

### **5.5. La plate-forme SWARM**

SWARM est une plate-forme multi-agents avec agents réactifs. L'inspiration du modèle d'agent utilisé vient de la vie artificielle. SWARM est l'outil privilégié de la communauté américaine et des chercheurs en vie artificielle. L'environnement offre un ensemble de bibliothèques qui permettent l'implémentation des systèmes multi-agents avec un grand nombre d'agents simples qui interagissent dans le même environnement. De nombreuses applications ont été développées à partir de SWARM qui existe aujourd'hui implémenté en plusieurs langages (Java, Objective-C) [13].

### **Conclusion :**

La vision centralisée des problèmes est difficile à mettre en œuvre dans le cas de processus complexes, réunir la décentralisation et l'autonomie grâce aux systèmes Multi-Agents ouvre les portes vers une nouvelle démarche de résolution des problèmes et de simulation des phénomènes complexes, cette dernière a bien exploité les avantages qu'offrent les systèmes Multi-Agents qui lui permettent de maîtriser la complexité et la difficulté des systèmes à simuler.

La simulation Multi-agents est un mécanisme important et facile surtout dans le domaine médical que nous connaissons, Alors les SMA aident les chercheurs pour faire une bonne visualisation.

La simulation Multi-agents est aussi une synthèse des recherches sur la modélisation dans le monde des médias informatiques et les mécanismes de son utilisation.

La simulation multi-agent devient un outil essentiel pour la construction de modèles explicatifs des phénomènes complexes.

# ***Chapitre III***

***Modélisation et Expérimentation***

## **1. Introduction**

Dans ce chapitre on va présenter des modèles à bases des systèmes multi agents pour faire des simulations et pour comprendre les causes et les conséquences et la manière de la propagation de l'infection par le virus COVID-19 dans le communauté en particulier et les épidémies de façon générale. Nous choisissons **la méthodologie Voyelles** afin de modéliser notre approche. la méthodologie Voyelles contribue à l'explication détaillée de la modélisation et la conception en montrant les relations entre les agents et leur environnement et leurs modes d'interactions.

Et pour l'expérimentation, on utilise un logiciel de simulation qui s'appelle **Greenfoot**, ce dernier contient des bibliothèques et options qui facilitent la simulation à base d'agents.

## **2. Les méthodologies de conception des SMA**

Les méthodologies orientées agents sont devenues une priorité pour le développement de systèmes complexes. Il s'agit avant tout de tirer parti des modèles, méthodes et outils déjà proposés pour faciliter la construction des systèmes multi-agents. La plupart des méthodologies pour les systèmes multi-agents sont des extensions des méthodologies orientées-objets et restent ainsi incomplètes [14].

De plus, peu d'efforts ont été faits pour la normalisation des méthodologies orientées agents et les plates formes d'exécution, dans ce qui va suivre, nous allons détailler quelques méthodologies les plus utilisées :

### **2.1. La méthode des voyelles**

L'approche Voyelles, créée par Yves DEMAZEAU du laboratoire IMAG, analyse les systèmes multi-agents selon quatre points de vue : Agents, Environnements, Interactions, et Organisations (les voyelles **A, E, I, O**), d'égale importance paradigmatique [15]

- ✓ **A = Agents**, qui concernent les modèles (ou les architectures) utilisés pour la partie active de l'agent, depuis un simple automate à un complexe système à base de connaissances.
- ✓ **E = Environnements**, qui sont les milieux dans lesquels sont plongés les agents. Ils sont généralement spatiaux dans la plupart des applications multi-agents.

## CHAPITRE III *Modélisation et Expérimentation*

- ✓ **I = Interactions**, qui concernent les infrastructures, les langages et les protocoles d'interactions entre agents, depuis de simples interactions physiques à des interactions langagières par actes de langage.
- ✓ **O = Organisations**, qui structurent les agents en groupes, hiérarchies, relations, etc.

**SMA = Agents + Environnement + Interactions + Organisations**

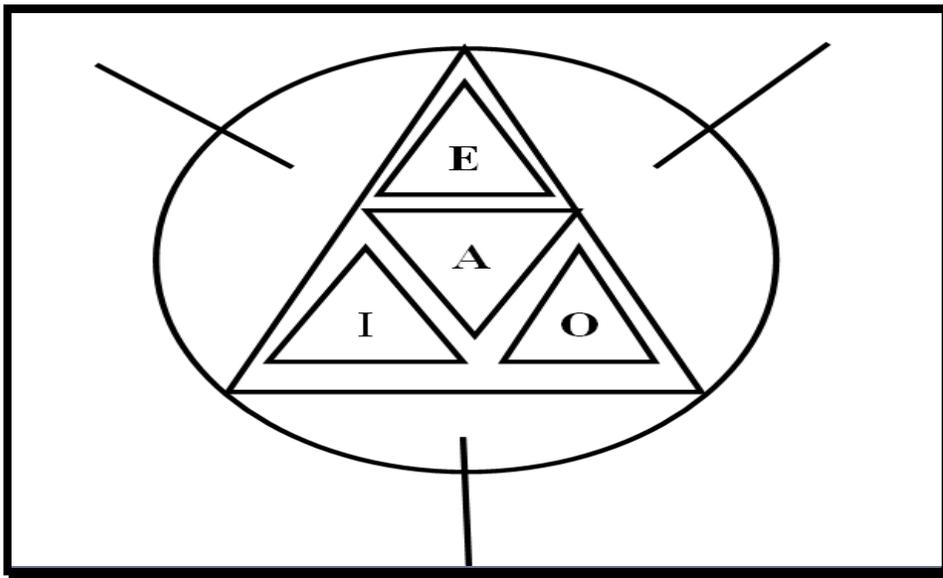


Figure III.1: Représentation symbolique de la méthode des Voyelles[15].

### 2.2. La méthode Aalaadin

Elle repose sur les bases de **rôle**, de **groupe** et d'**agent**.

- Un agent est une entité communicante qui joue un ou plusieurs rôles dans des groupes (un ensemble atomique d'agents). Chaque agent peut appartenir à différents groupes et les groupes peuvent se chevaucher.

- Un rôle dans Aalaadin est une représentation abstraite de la fonction, du service ou tout simplement l'identificateur d'un agent au sein d'un groupe. Chaque agent peut tenir plusieurs rôles, mais chaque rôle est local à un groupe. La communication entre les agents est possible grâce aux rôles qu'ils assument et le contrôle sur les communications est effectué par le groupe. Dans Aalaadin, la notion d'organisation correspond à une relation structurelle entre les rôles

## CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation

définis au sein des groupes et la notion d'interaction n'est pas explicitement représentée ni manipulable dans le système. Les principales étapes de cette méthode sont :

- L'analyse, qui permet d'identifier les fonctions du système et les dépendances au sein de communautés identifiées. Il convient de définir quels sont les mécanismes de coordination et d'interaction entre les entités d'analyse.
- La conception, qui contient l'identification des groupes et des rôles dans des diagrammes de structures organisationnelles.
- La réalisation, qui commence par le choix de l'architecture d'agent. Puis la gestion des entités du domaine permet d'implanter le système à partir d'organisations concrètes. Le mieux étant d'utiliser MadKit comme plate-forme de prototype et de simulation [15].

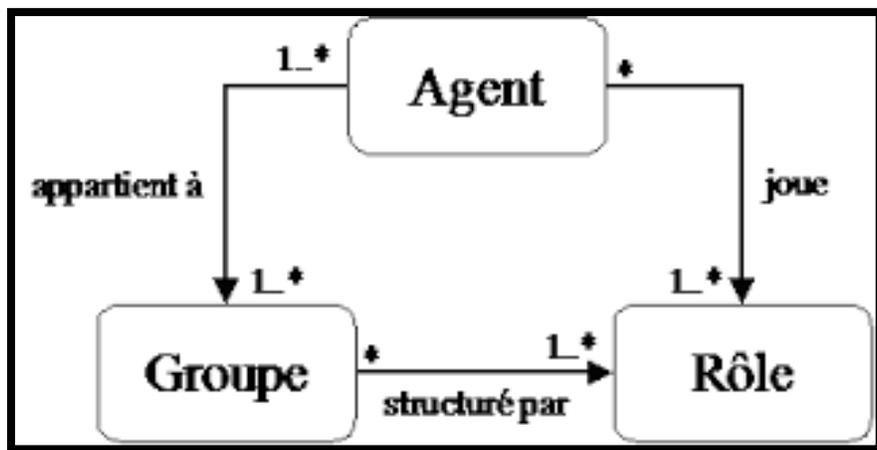


Figure III.2:Représentation de la méthode de Alaadin[15].

### 2.3. La méthode AMAS/Adelfe

La méthode ADELFE (**A**telier pour le développement de **L**ogiciels à **F**onctionnalité **É**mergente) est une extension d'UML qui tente de prendre en compte les notions associées au paradigme multi-agent. La méthode ADELFE a en fait été développée afin de fournir un outil applicatif de la théorie des AMAS « **A**daptive **M**ulti-**A**gent **S**ystems ».

Selon la théorie AMAS, pour tout système fonctionnellement adéquat réalisant la fonction souhaitée, il existe au moins un système dont les agents sont en interactions coopératives.

Cela signifie que pour concevoir un système remplissant la fonction attendue, il suffit que les agents qui le composent coopèrent en tant que situation sociale.

## CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation

Le processus d'ADELFE est basé sur le Rational Unified Process et y ajoute des activités spécifiques à l'ingénierie orientée agent. Les notations sont une extension des notations UML et A-UML. La méthode ADELFE propose une plateforme comprenant un outil de modélisation graphique ; une bibliothèque de composants permettant des simulations et un prototypage rapide et une technique d'auto-assemblage des composants logiciels que sont les agents adaptatifs [15].

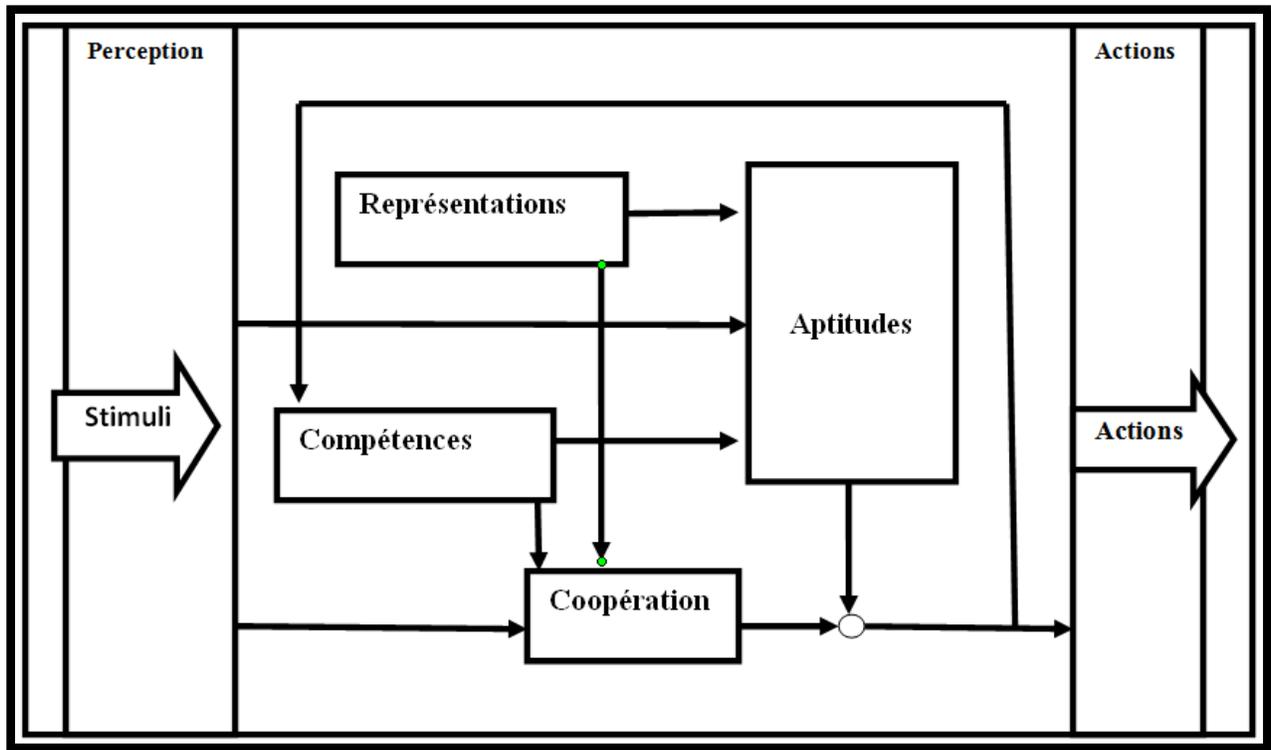


Figure III.3:Représentation de la méthode de AMAS/Adelfe[15].

### 3. Pour quoi ce choix ?

Parmi les meilleures façons d'aider au mieux dans le cycle de développement d'un système multi-agents, nous avons considéré la **methodologie des voyelles** pour modéliser notre système. Car ce choix est basé sur la décomposition du système en cinq dimensions et aussi comporte plusieurs aspects utiles, qui sont :

- **Agent** : il représente dans notre cas une personne (les gents infectés no-infectés )  
-**Agent infecté** : Chaque personne est porteuse de l'infection de la maladie de sorte qu'elle a la possibilité de transmettre l'infection à plusieurs personnes de son entourage soit par contact, soit à une distance inférieure à un mètre.

## ***CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation***

---

**-Agent no-infecté :** Toute personne normale qui n'est pas porteuse du virus et qui se déplace dans son environnement à l'aise et ne peut pas connaître le nombre de personnes infectées autour de lui.

- **Environnement :** C'est un endroit qui contient un groupe de personnes de toutes sortes pour qu'elles bougent spontanément et que rien ne les arrête (soit ouvert ou fermé).
- **interaction :** Sont les mouvements et les réactions que chaque personne dans le lieu, soit entre elle et la personne la plus proche de lui ou la personne qui est loin de lui et cette dernière est la façon dont le virus se propage d'une personne à une autre (toucher, communiquer ... etc.).
- **Organisation :** c'est les comportements des éléments au les entités d'agents( infecter, masqué, vacciné, mort, vivant ) et d'environnement ( ouvert, fermé).
- **utilisateur :** aussi là y a pas user .

**Remarque :** (ce dernier est nouvellement créé).

Cette décomposition permet de modifier le système, de simplifier sa construction et d'offrir une meilleure réutilisation du code.

Les voyelles ne sont associées à aucune notation ou plate-forme, ce qui offre la possibilité d'utiliser AUML (Agent Unified Modeling Language), une extension d'UML, au stade de la conception du système et la plate-forme Jade pour réaliser le système.

Les voyelles sont basées sur les principes de pure multiplicité d'agents.

### **4. Les principes de la méthode des voyelles**

Cette dernière repose sur trois principes importants, qui sont :

**4.1. Analyse :** L'étape d'analyse est la première étape de la modélisation afin d'identifier la nature des personnes, le modèle d'interaction et l'environnement qui les contient et de nous permettre d'ajuster une image approximative de la réalité qui nous aide à modéliser la situation.

**4.2. Conception :** Une fois les éléments de conception identifiés, nous plaçons chaque élément à sa place appropriée afin de former une image approximative de la réalité à modéliser afin d'obtenir une vue d'ensemble et des résultats clairs pour en déduire les causes et les conséquences avec des solutions finales ou une approximation.

## ***CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation***

---

**4.3. Implémentation :** Après l'étape de représentation de la réalité virtuelle vient maintenant l'étape de l'implémentation (on utilise le Greenfoot) afin que nous puissions voir le mouvement des personnes et changer leur situation et à la fin nous obtenons une réalité virtuelle similaire à la réalité réelle porte les mêmes résultats.

### **5. Présentation de l'outil Greenfoot version 3.5.4**

Greenfoot est un environnement de développement intégré en Java conçu principalement pour l'enseignement au niveau secondaire supérieur et universitaire. Il permet de développer facilement des applications en 2D telles que des jeux ou des simulations.

Greenfoot est développé et maintenu à l'Université du Kent et l'Université de La Trope, avec le soutien d'Oracle. C'est un logiciel libre distribué sous la licence GPL. Greenfoot est disponible pour Microsoft Windows, Mac OS X, Linux, Sun Solaris, et n'importe quelle machine virtuelle Java récente. [Web 6]

### **6. Quelques Modèles (scénarios)**

Dans notre cas, nous utilisons l'outil Greenfoot pour simuler des situations liées à l'évolution de l'épidémie de COVID-19 dans la communauté, à travers différents scénarios qui ont été tirés du monde réel, en allant synchroniser les événements du début de l'apparition de la maladie jusqu'à la fin, de sorte que nous ne puissions pas simuler tous les cas d'eux mais nous ferons quelques essais afin de simuler autant de situations possibles que nous pouvons voir les résultats pour discuter des décisions .

#### **6.1. Le premier modèle**

##### **6.1.1. La situation classique :** Environnement ouvert sans mesure des préventives

Le premier scénario concerne la première étape de la découverte de l'épidémie dans le monde, puisque les médecins ne connaissaient pas le pourcentage du risque qui se produira car il s'agit d'une nouvelle épidémie, ils n'ont pas pu déterminer la méthode de prévention la plus appropriée et cela a accéléré le taux de sa propagation dans la communauté, La maladie s'est propagée rapidement et nous enregistrons des cas avec des milliers de décès, nous devons donc trouver des solutions.

## CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation

**Partie conception :** on prend par considération :

**Agents :** il y a deux types sont : Personne infectée et personne non infectée.

Le comportement des agents est contrôlé par l'algorithme en pseudo code suivant :

```
Algorithme comportement _Agent1 ;
Var P : list des agents voisins ;//
dis :entier // distance sociale par défaut 1 m
Début
Tanque (vrai) faire //boucle principale de l'agent
Personnes=liste-personnes (dis)//trouver les agents proches par une distance <dis
Pour Per in Personnes // itérer sur la listes des agents
Si Per n'est pas infecté
Infecter(Per) //changer l'état de l'agent à agent infecté un porteur virus
Fsi ;
Fin tanque ;
```

**Environnement :** ici l'environnement représente la société (espace ouvert ).

**Interaction :** représente deux types : Contact direct ou bien distance à moins d'un mètre.

**Partie d'implémentation** Dans cette partie, on présente les interfaces de notre implémentation. Ainsi que les résultats obtenus et une discussion sur l'évolution de l'épidémie.

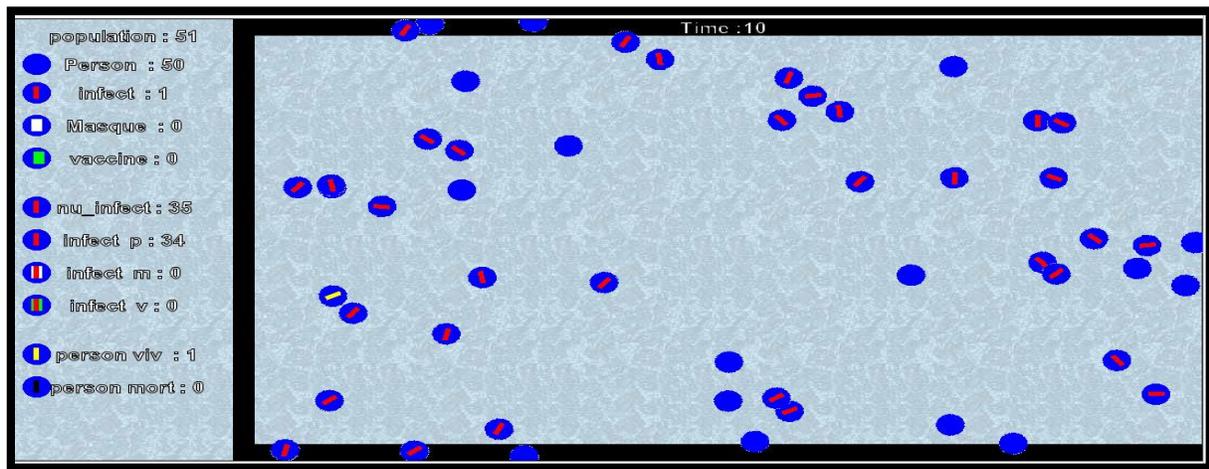
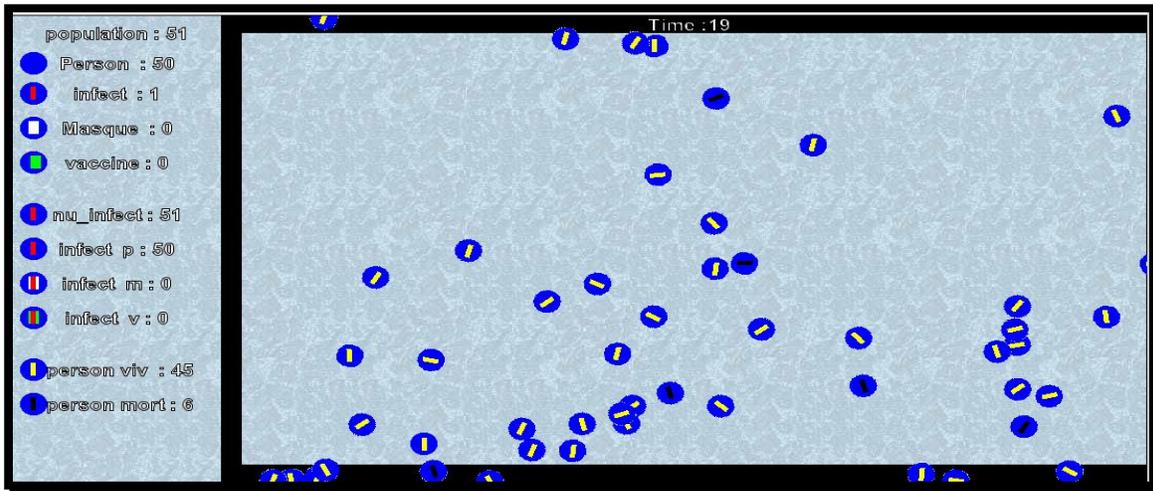


Figure III.4: Propagation de l'infection COVID-19

## CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation



**Figure III.5: Écllosion d'infection COVID-19.**

Pour tracer la courbe nous prenons des valeurs aléatoires puis en vas voir le résultat, voir le tableau suivant :

Temps	Nbr_person	Person infect	Person vivant	Person mort
0	0	1	0	0
1	0	1	0	0
2	0	1	0	0
3	2	3	0	0
4	3	4	0	0
5	9	10	0	0
6	15	16	0	0
7	27	28	0	0
8	38	39	0	0
9	44	45	0	0
10	46	47	0	0
11	50	51	0	0
12	0	0	12	2

## CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation

13	0	0	19	2
14	0	0	31	2
15	0	0	37	5
16	0	0	40	5
17	0	0	42	5
18	0	0	44	6
19	0	0	44	6

Tableau III.1 : les résultats de premier scénario.

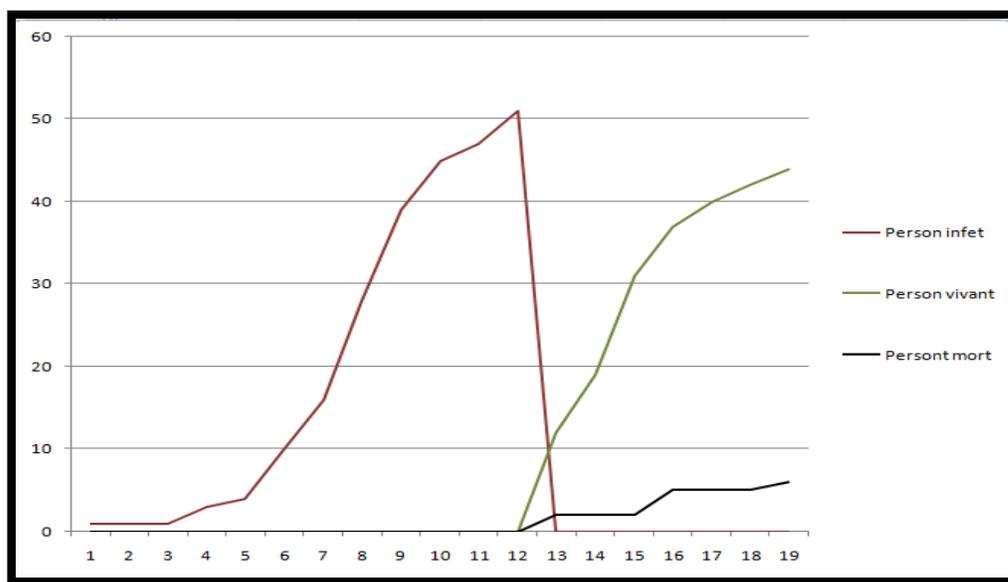


Figure III.6: La courbe de premier scénario .

### La discussion du premier scénario

Alors dans la première situation quand le COVID est nouveau dans le monde c.-à-d les débuts de l'épidémie dans le monde en décembre 2019, Les gens ne savent pas quoi faire pour prévenir l'infection , la source et les raisons de son émergence, et nous ne connaissons pas les conséquences et les degrés de son danger .c'est pour ça l'accélération du nombre d'infection dans la société a été grande car le virus touche la majorité des gens , Il y a ceux qui restent vivants après l'infection , et il y a ceux qui deviennent morts .

## **CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation**

---

### **6.1.2. La situation classique :** Environnement ouvert avec mesures des préventives.

Presque ce dernier scénario est comme le premier scénario mais cette fois on applique les mesures des préventives recommandées par les médecins , ils ont proposé des techniques préventives pour minimiser l'épidémie du COVID-19 , parmi ces technique on a trouve ( **le masque [ bavette ], la distance mesurée par 1 m , le vaccin** ) suivant l'organisation mondiale de la santé (OMS) , donc la situation que l'on pourrait prévoir si un/une épidémie de COVID-19 déclencherait au certain région .

**Partie de conception :** on prendre par considération :

**Agents :** il ya quatre types sont : Personne infectée, personne en bonne santé, Une personne qui met une bavette et une personne qui est vaccinée

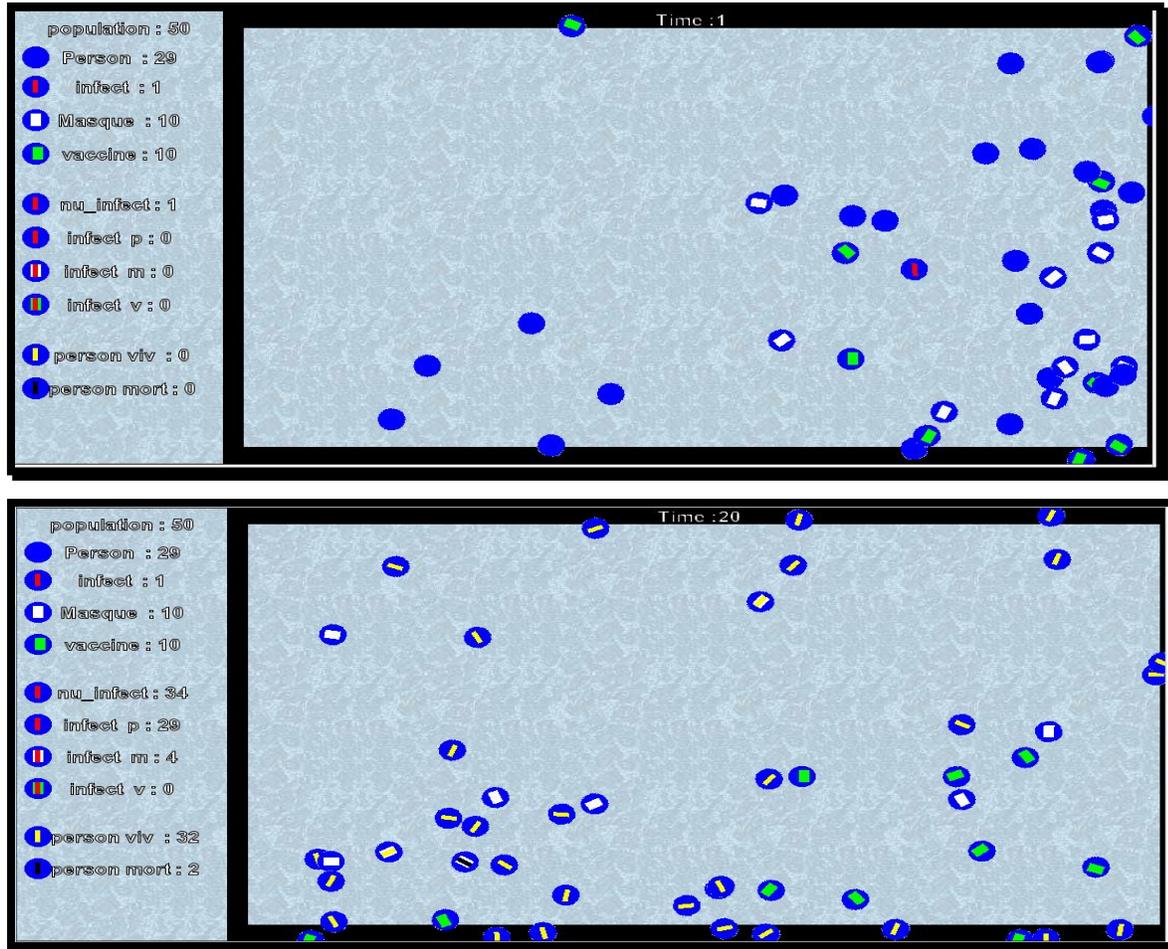
Le comportement de l'agent est plus compliqué que le scénario précédent

```
Algorithme comportement _Agent2;
Var P : liste des agents voisins ;//
dis : entier // distance sociale par défaut 1 m
Début
Tanque (vrai) faire //boucle principale de l'agent
Personnes=liste-personnes (dis) //trouver les agents proches par une distance <dis
Pour Per in Personnes // itérer sur la listes des agents
Si Per n'est pas infecté et elle ne porte pas de masque et il n'est pas vaccinée
Infecter(Per) //changer l'état de l'agent à agent infecté un porteur virus
Sinon Si Per n'est pas infecté et elle porte de masque et il n'est pas vacciné
Infecter(Per) //changer l'état de l'agent à agent infecté un porteur virus
Sinon Si Per est vaccinée
//rien faire car on a une personne bien protégée
Fsi ;
Fin tanque ;
```

## *CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation*

**Environnement et mode d'interaction :** reste le même comme le cas précédent

**Partie d'implémentation :**



**Figure III.7:La modélisation de deuxième scénario.**

Pour tracer la courbe nos prenons des valeurs aléatoires puis on va voir les résultats, voici le tableau suivant :

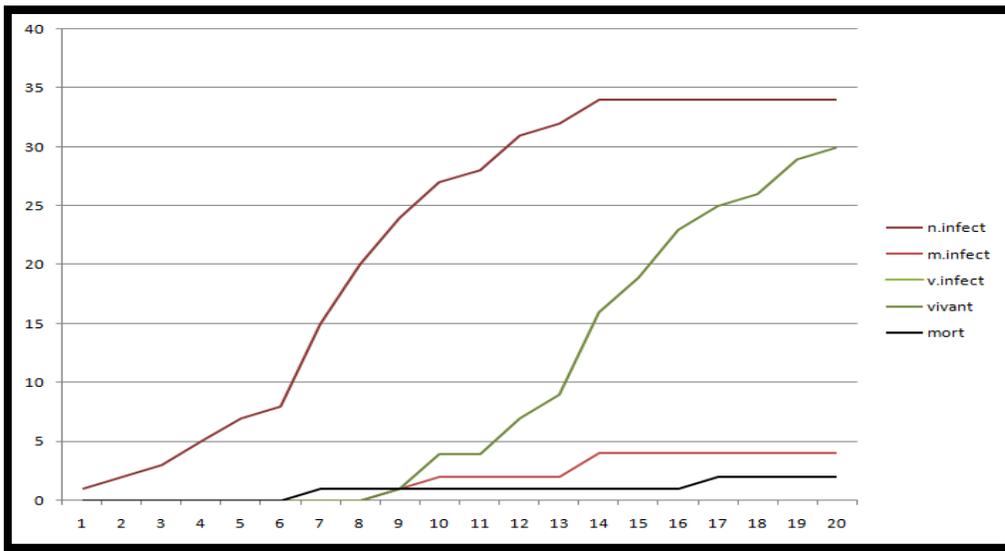
Nb\_de\_Person = 29, Nb\_de\_Person\_masc. = 10 ; Nb\_de\_Person\_vaccin = 10

temps	n.infect	m.infect	v.infect	vivant	mort
0	1	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0
2	3	0	0	0	0
3	5	0	0	0	0
4	7	0	0	0	0

## *CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation*

5	8	0	0	0	0
6	15	0	0	0	1
7	20	0	0	0	1
8	24	1	0	1	1
9	27	2	0	4	1
10	28	2	0	4	1
11	31	2	0	7	1
12	32	2	0	9	1
13	34	4	0	16	1
14	34	4	0	19	1
15	34	4	0	23	1
16	34	4	0	25	2
17	34	4	0	26	2
18	34	4	0	29	2
19	34	4	0	30	2
20	34	4	0	30	2

**Tableau III.2 : Les résultats de deuxième scénario.**



**Figure III.8: La courbe de deuxième scénario.**

### **La discussion de deuxième scénario**

En ce qui concerne le deuxième scénario, les scientifiques ont fait quelques progrès, puisqu'ils sont parvenus à un ensemble des mesures préventives pour limiter la propagation du virus entre les personnes, et pour cela et dans le même environnement (le premier scénario) nous avons

## CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation

appliqué ces mesures à un échantillon des personnes et nous avons remarqué la différence dans le développement de la propagation de la maladie car nous avons pu réduire le nombre d'infections ainsi que nous avons minimiser le nombre des personnes morts .

### 6.2. Le deuxième modèle

#### 6.2.1. La situation avancé : Environnement fermé sans mesures des préventives

Dans ce cas, l'environnement sera fermé, par exemple, un supermarché telle que le nombre des personnes est place dans un endroit limité, et il y aura plus des d'interactions entre les gents (clients). Ici, nous allons simuler ce scénario pour noter la différence dans le nombre d'infecter des gents dans le supermarché.

**Partie de conception :** on prend par considération :

**Agents :** il ya quatre types sont : Client infectée, Client en bonne santé.

**Environnement :** ici l'environnement représente le supermarché ( espace fermé ).

**Interaction :** représente deux types : Contact direct ou état de la communication à moins d'un mètre.

**Partie d'implémentation :** voir aussi la courbe et le tableau.

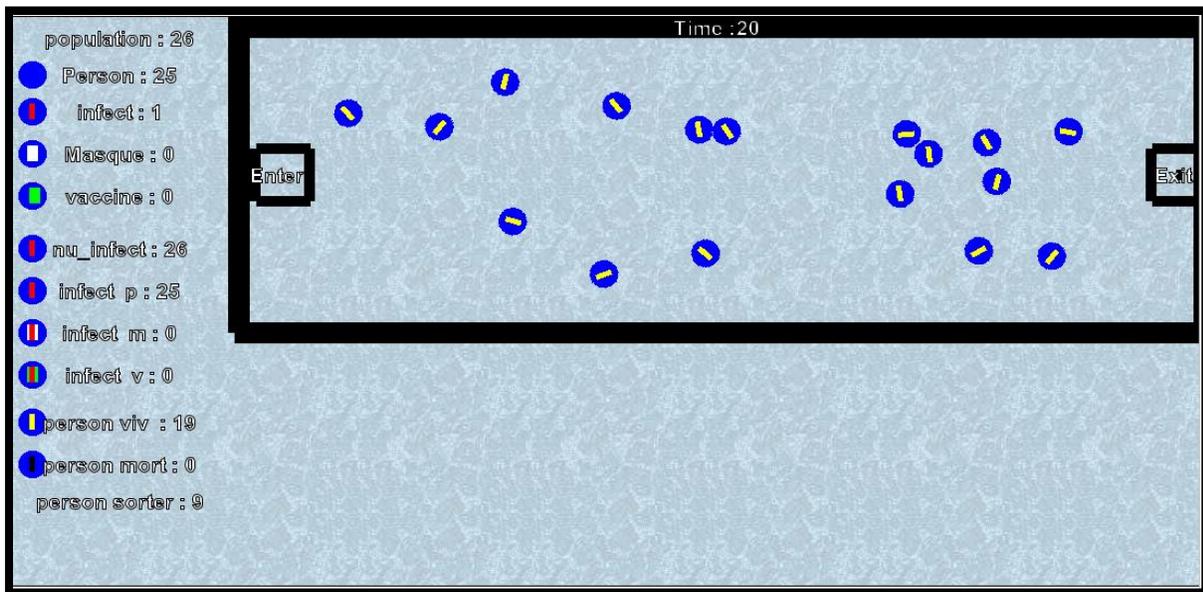


Figure III.9:La modélisation de troisième scénario.

## ***CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation***

---

**Remarque :** Le même algorithme dans le premier cas (sans mesures des préventives).

Pour tracer la courbe nous prenons des valeurs aléatoires puis en vas voir le résultat, voici le tableau suivant :

<b>Temps</b>	<b>p.infect</b>	<b>vivant</b>	<b>mort</b>
<b>0</b>	1	0	0
<b>1</b>	3	0	0
<b>2</b>	3	0	0
<b>3</b>	4	0	0
<b>4</b>	4	0	0
<b>5</b>	6	0	0
<b>6</b>	9	0	0
<b>7</b>	12	0	0
<b>8</b>	15	1	0
<b>9</b>	18	1	0
<b>10</b>	23	1	0
<b>11</b>	24	1	0
<b>12</b>	26	3	0
<b>13</b>	26	5	0
<b>14</b>	26	7	0
<b>15</b>	26	10	0
<b>16</b>	26	13	0
<b>17</b>	26	16	0
<b>18</b>	26	17	0
<b>19</b>	26	19	0
<b>20</b>	26	19	0

**Tableau III.3 : Les résultats de troisième scénario.**

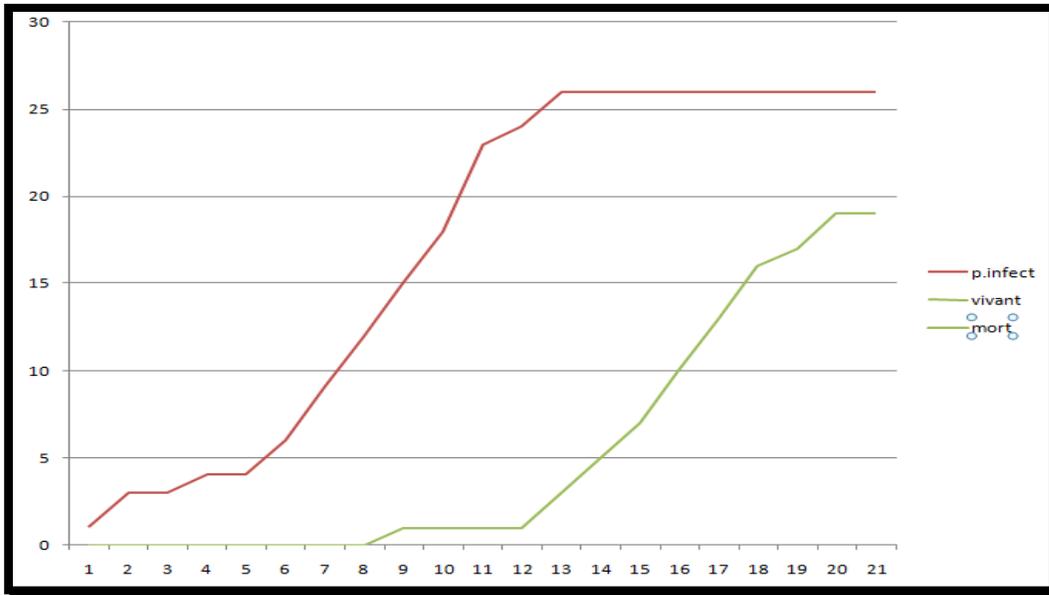


Figure III.10: La courbe de troisième scénario .

### La discussion de troisième scénario

On vient maintenant d'étudier la propagation de la maladie en environnement fermé alors que le nombre d'interactions entre les personnes est important. Par exemple on prend le supermarché comme un environnement sans appliquer les conditions de prévention convenues. Donc ici on s'aperçoit que le nombre d'infections a doublé dès le premier parce que dans un espace limité, chaque personne malade va infecter une ou deux personnes et c'est la cause que la maladie est très répandue dans les espaces fermés en raison du grand nombre d'interactions entre les personnes.

### 6.2.2. La situation avancé : Environnement fermé avec mesures des préventives

Dans ce scénario en étudie le cas si l'environnement fermé par considération un supermarché occupé, Là on peut minimiser le nombre des épidémies parce que si un client n'applique pas les mesures des préventions alors il ne peut pas rentrer le supermarché. Alors on va essayer le scénario.

## CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation

### Partie de conception

**Agents :** il y a quatre types qui sont : Client infecté, Client non infecté, Client qui met une bavette et Client qui est vacciné

**Environnement :** ici l'environnement représente un supermarché (espace fermé).

**Partie d'implémentation :** voir aussi la courbe et le tableau.

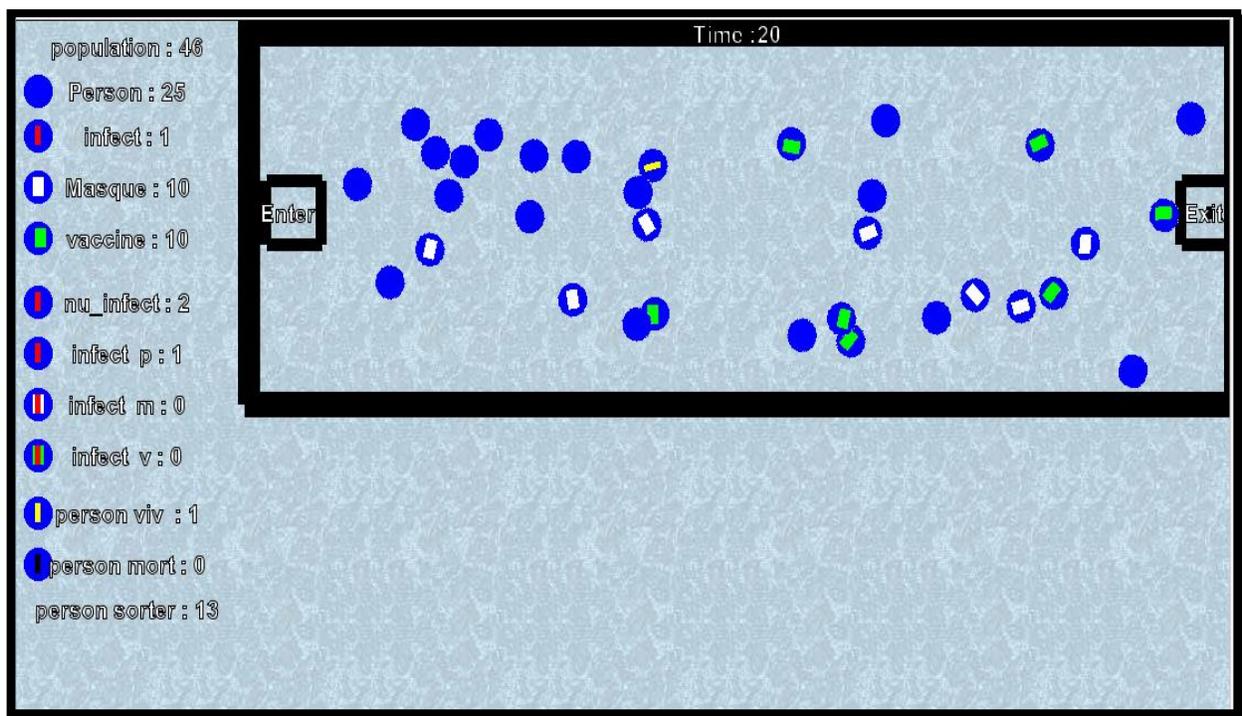


Figure III.11: La modélisation de quatrième scénario.

**Remarque :** Le même algorithme dans le deuxième cas (avec mesures des préventives).

Pour tracer la courbe nous prenons des valeurs aléatoires puis en va voir les résultats, voici le tableau suivant:

### *CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation*

---

<b>temps</b>	<b>p.infect</b>	<b>m.infect</b>	<b>v.infect</b>	<b>vivant</b>	<b>mort</b>
<b>0</b>	1	0	0	0	0
<b>1</b>	1	0	0	0	0
<b>2</b>	1	0	0	0	0
<b>3</b>	1	0	0	0	0
<b>4</b>	1	0	0	0	0
<b>5</b>	2	0	0	0	0
<b>6</b>	2	0	0	0	0
<b>7</b>	2	0	0	1	0
<b>8</b>	2	0	0	1	0
<b>9</b>	2	0	0	1	0
<b>10</b>	2	0	0	1	0
<b>11</b>	2	0	0	1	0
<b>12</b>	2	0	0	1	0
<b>13</b>	2	0	0	1	0
<b>14</b>	2	0	0	1	0
<b>15</b>	2	0	0	1	0
<b>16</b>	2	0	0	1	0
<b>17</b>	2	0	0	1	0
<b>18</b>	2	0	0	1	0
<b>19</b>	2	0	0	1	0
<b>20</b>	2	0	0	1	0

**Tableau III.4 : les résultats de quatrième scénario.**

## CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation

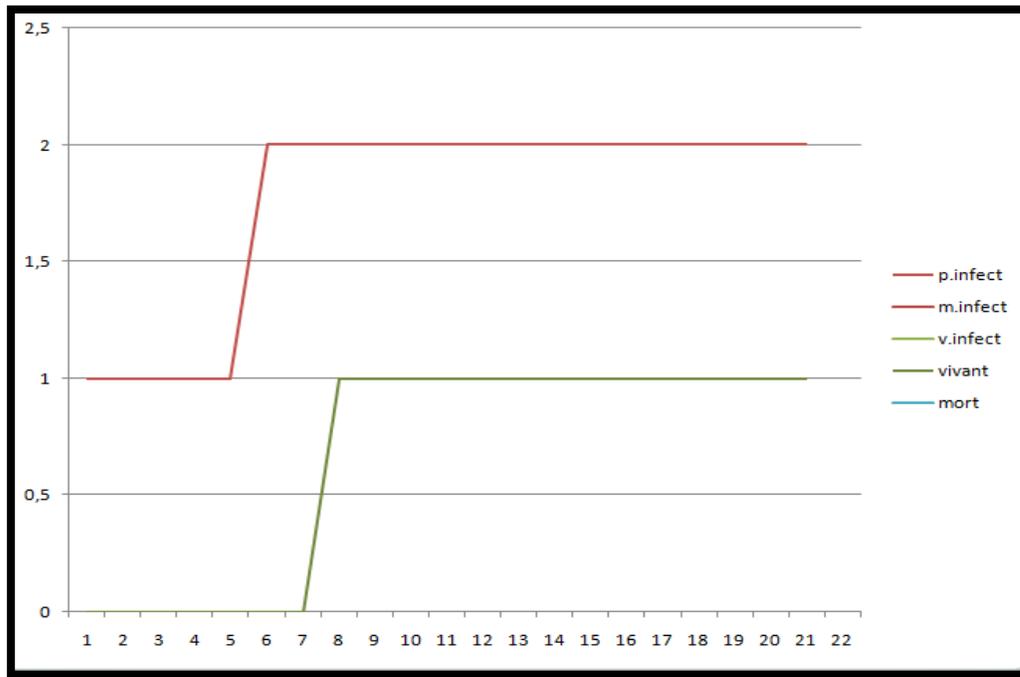


Figure III.12: la courbe de scénario.

### La discussion de quatrième scénario :

Dans le quatrième scénario, comme nous l'avons noté précédemment (le troisième scénario) dans un environnement fermé et en appliquant la prévention obligatoire aux personnes, ce qui signifie que chaque un qui entre dans le supermarché doit suivre les procédures pour se protéger lui-même et protéger les autres, ici que nous avons pu contrôler les personnes et réduire considérablement les infectés comme nous l'avons noté auparavant, ainsi que nous remarquons que les gens qui ont déjà fait le vaccin ne deviennent pas infectés et le taux de nombre des personnes morts est nul .

### 7. Tableau comparative :

	Sans mesures des préventives	Avec mesures des préventives
Environnement ouvert	80% des personnes infectés	59% des personnes infectés
Environnement fermé	100% des personnes infectés	12% des personnes infectés

## ***CHAPITRE III Modélisation et Expérimentation***

---

### **Conclusion :**

Les différentes simulations que nous avons menées sur les différentes situations précédemment étudiées nous permettent de remarquer une différence dans le nombre des infectés, qui était due à un certain nombre des mesures. On pourrait penser que la méthode de contrôle optimale est de la bonne visualisation.

D'autre part, les campagnes de sensibilisation sont plus rapides et plus ciblées sur les quartiers populaires et d'autre part d'envisager les mesures ultérieures de mesures de prévention afin de ralentir la propagation de l'épidémie et réduire le taux de mortalité dans les villes et les zones isolé. Et pour réaliser tout cela, nous devons d'abord être capables d'identifier rapidement une épidémie, puis de s'engager rapidement et rendre plus visible auprès de la population de la classe inférieure et enfin prendre des mesures préventives et le mettre en œuvre le plus possible.

## *Conclusion Générale*

---

Dans ce modeste travail, nous proposons une modélisation et une simulation basées sur les systèmes multi-agents de l'épidémie Covid-19.

L'objectif était de montrer l'intérêt et l'impact de l'utilisation des mesures préventives sur la propagation de cette épidémie.

Nous divisons notre travail en deux parties, la première avec l'hypothèse d'un environnement ouvert, par contre dans la deuxième, un environnement fermé (un super marché par exemple).

Et dans chaque cas, nous simulons une population qui prend aucune mesure préventive, et la même population avec certaines mesures (le respect de la distance sociale, porte de masque, le vaccin...).

Les résultats des simulations montrent une diminution important dans les taux de la propagation de l'épidémie surtout dans les environnements fermés si les gens respectent les recommandations de l'organisation mondiale de la santé concernant le respect de la distance sociale et le porte de masque par exemple.

Comme perspectives de ce travail, nous proposons :

- Étudier l'impact du choix de la distance sur l'évolution de l'épidémie.
- comparer les mesures préventives les unes par rapport aux autres (par exemple la porte de masque versus le vaccin).

## Références bibliographiques :

---

1. O. BOUSSAID, M.S. GEMALITES, 20/04/2020, université paris-Saclay, *Modélisation et simulation Généralités*, p2.
2. LIONEL GENDRE, 10/01/2013, université de Annaba, *Introduction à la simulation*, p7.
3. STAN ULAM, JOHN VON NEUMANN, and the MONTE CARLO METHOD by Roger Eckhardt, *The Monte Carlo method is a statistical sampling technique that*. 13 pages.
4. J. FERBER, 1995, InterEditions, *Les systèmes multi-agents - Vers une intelligence collective*. p467.
5. M. WOOLDRIDGE, JOHN WILEY and SONS, 2002, *Introduction to Multi-Agent Systems*, p 18.
6. N. R. JENNINGS, M. WOOLDRIDGE, and K. SYCARA, 1998, In *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, A roadmap of agent research and development.*, p 7- 38, .
7. J. FERBER and M. GHALLAB, 1995, InterEditions, *Problématiques des univers Multi-Agent* p 467.
8. T. FININ, J. WEBER, G. WIEDERHOLD, M. GENESERETH, R. FRITZON, J. MCGUIRE, S. SHAPIRO, D. MCKAY, R. PELAVIN, C. BECK, 1994, *DARPA Knowledge Sharing Initiative External Interface Working Group, Specification of the KQML Agent-Communication Language plus example agent policies and architectures* .
9. T. FININ, G. WIEDERHOLD, 1993, *Department of Computer Science, Stanford University, an Overview of KQML: A knowledge Query and Manipulation Language*.
10. F. BELLIFEMINE, A. POGGI and G. RIMASSA, April 1999, London, "JADE—A FIPA—Compliant Agent Framework," ... of *Intelligent Agents and Multi-Agent Technology*.

**11.**Y. SECQ, 2003, Lille, France, *RIO : Rôles, Interactions et Organisations une méthodologie pour les systèmes multi agents ouverts* », Thèse Doctorat, Université des Sciences technologies.

**12.**H.NWAMA, D.NDUMU, L.LEE, J.Collis, 2003, « Zeus: A tool-kit for building Tutorial Jade, Madkit (in the journal on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems).

**13.**B. CHAIB-DRAA, I. JARRAS, 2002, Montréal, *Aperçu sur les systèmes multi agents*, Série Scientifique.

**14.**STEPHANE GALLAND, 2004, Approche multi-agents pour la conception et la construction d'un environnement de simulation en vue de l'évaluation des performances des ateliers multi-sites.

**15.**Y. DEMAZEAU, 1995, Saint-Malo, From Interactions to Collective Behaviour in Agent-Based Systems, Proceeding of the First European Conference on Cognitive Science, p. 117-132.

## Web bibliographiques :

---

[web 1] : <http://laerd.com/fr/information/coronavirus-covid-19-resource-center> consulter le 28/06/2022

[web 2] : [www.greenfoot.org/scenarios](http://www.greenfoot.org/scenarios) consulter le 28/06/2022

[web 3] : <http://www.ibrse.univ-evry.fr> consulter le 13/03/2022

[web 4] : <http://www.ibisc.univ-evry.fr/~hutzler/Cours/SMA.html> consulter le 22/04/2022

[web 5] : <http://www.ensi.fr/grimoud/simulation/coursRapide> consulter le 22/04/2022

[web 6] : <http://www.greenfoot.org/book/> (par MICHAEL KOLLING) consulter le 13/05/2022

## **Résumé :**

L'épidémie de virus corona est apparue récemment et a laissé une grande dévastation dans le monde, où des millions ont été infectés et des milliers de personnes sont mortes, notre travail se concentre spécifiquement sur la modélisation et la simulation basées sur des systèmes multi-agents afin que ces derniers nous offrent les mouvements des patients covid-19 dans l'océan et sur la base des résultats obtenus, les solutions les plus appropriées seront décidées.

Grâce au travail que nous avons effectué, nous avons constaté que lors de l'application des conditions de prévention d'un masque de protection, le respect de la distance de sécurité supérieure à un mètre, et nous nous sommes concentrés en particulier sur le vaccin, qui contribue à 80% de la réduction de l'infection.

La simulation est le moyen le plus approprié de présenter une vision claire du monde réel à travers le monde virtuel pour prendre la meilleure décision.

**Mots clés:** Modélisation, simulation, Système multi-agents, simulation multi-agents, COVID-19

## **Abstract:**

The corona virus epidemic has appeared recently and has left a great devastation in the world, where millions have been infected and thousands of people have died, our work focuses specifically on modeling and simulation based on multi-agent systems so that the latter offer us the movements of covid-19 patients in the ocean and based on the results obtained, the most appropriate solutions will be decided.

Thanks to the work we have done, we have found that when applying the conditions for the prevention of a protective mask, compliance with the safety distance of more than one meter, and we have focused in particular on the vaccine, which contributes to 80% of the reduction of infection.

Simulation is the most appropriate way to present a clear vision of the real world through the virtual world to make the best decision

**Keywords:** Modeling, simulation, Multi-agent system, multi-agent simulation, COVID-19.

## ملخص:

ظهر وباء كورونا فيروس مؤخرا و ترك في العالم خرابا كبيرا حيث أصيب الملاين و مات الآلاف من الناس يتركز عملنا خصيصا على النمذجة و المحاكاة بالاعتماد على أنظمة متعددة الوكلاء بحيث تقدم لنا هذه الأخير تحركات مرضي الكوفيد- في المحيط و انطلاقا من النتائج المتحصل عليها سيتم تقرير الحلول الأنسب, من خلال العمل الذي قمنا به فإننا وجدنا أنه 19 عند تطبيق شروط الوقاية من قناع واقى , احترام لمسافة الأمان التي تكون أكبر من واحد متر و ركزنا خصوصا على اللقاح .بالمائة من تقليل الإصابة80الذي يساهم في

.تعتبر المحاكاة الطريقة الأنسب لتقديم رؤية واضحة للعالم الحقيقي من خلال العالم الافتراضي لتقديم أفضل قرار

**الكلمات الرئيسية :** النمذجة ، المحاكاة ، نظام متعدد الوكلاء ، محاكاة متعددة الوكلاء, كوفيد-19.