République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Seddik Benyahia de Jijel

Faculté des Sciences Exactes et informatique

Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme Master en Informatique

Option : Système d'information et d'aide à la décision

Thème

Simulation de la propagation du Covid-19 avec la prise en compte des mesures de confinement.

Présenté par :

- KEBIECHE Rania
- BOUKHERIS Rayane

Encadré par :

- Mr. BOUTEFARA Tarek

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

Nous remercions le Bon Dieu qui nous a donné le pouvoir, la volonté et le courage d'achever ce travail.

Nous remercions infiniment nos chers parents pour leurs aides et leur soutien moral et matériel.

Nous tenons également à remercier et exprimer toute notre reconnaissance et notre respect à notre encadreur et directeur du projet Mr.BOUTEFARA Tarek pour l'aide et l'orientation qu'il n'a cessé de nous prodiguer au cours de l'élaboration de cette étude, pour sa patience, sa gentillesse et sa disponibilité et surtout ses précieux conseils qui nous ont toujours éclairci le chemin de la réussite. Et aussi d'avoir accepté de nous encadrer pour notre travail de fin d'études, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement.

Nous profitons à l'occasion de remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail de fin d'études, sans oublier les généreux amis et collègues pour leur soutien moral.

Nos remerciements vont aussi à tous nos professeurs, enseignants et toutes les personnes qui n'ont cessé de nous donner des conseils très importants, qui nous ont fait comprendre et sentir ce que c'est l'informatique.

Nous présentons également nos remerciements aux membres du jury qui ont accepté de participer à l'évaluation de notre travail.

A toute l'équipe pédagogique qui a participé à notre formation depuis l'école primaire à ce jour, également à tous ceux qui nous ont aidées de près ou de loin lors de l'élaboration de ce travail.

A tous nos enseignants du Département d'informatique de Jijel qui nous ont initiés aux valeurs authentiques, en signe d'un profond respect.

Merci à vous tous

KEBIECHE Rania et BOUKHERIS Rayane

Dédicace

Ce travail est dédié à la mémoire lumineuse de mon défunt oncle maternel SEFRIOU Med Tahar Allah yrahmou qui serait le plus heureux s'il pouvait attendre de voir ce que je suis devenu.

C'est avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie ce modeste travail à mes chers et respectueux parents :

Ma très chère Mère, à qui je dois beaucoup pour ces sacrifices, son amour, son aide et son soutien afin de me voir parvenir à ce que je suis devenue aujourd'hui

A mon père, mon idole, qui a consenti beaucoup de sacrifices pour assurer mon éducation, qui a fait ma vie pleine du bonheur. L'amour que j'éprouve envers vous est incommensurable, Papa Je t'aime du plus profond de mon cœur

A mes yeux, la plus brillante de toutes, mes deux sœurs que Dieu les préserves et les procures la longue vie.

A ma très chère grand-mère maternelle ma deuxième mère

A notre encadreur : Monsieur BOUTEFARA Tarek qui nous a donné la force et le courage d'accompli ce projet.

A mon binôme Rayane pour les bons moments et son encouragement.

À tous mes amies, et spécialement ma copine Yamna pour son soutien. Je vous dirais tout simplement, un grand merci, je vous aime

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

Pour une sincérité si merveilleuse…jamais oubliable.

Rania

Dédicace

C’est avec un énorme plaisir, une immense joie, que je dédie ce travail à mes chers et parents.

Ma Maman qui m’a encouragé jours et nuits à mon Papa qui a toujours cru en moi que dieu vous protège et vous garde pour moi.

À mes deux frères et ma sœur que Dieu les préserves et les procures la longue vie.

À ma très chère grand-mère maternelle.

À notre encadreur : Monsieur BOUTEFARA Tarek qui nous a donné la force et le courage
d’accompli ce projet.

À mon binôme Rania avec qui j’ai réalisé ce travail.

À tous mes amies Je vous dirais tout simplement, un grand merci, je vous aime

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

Rayane

Résumé

L'objectif de ce projet est d'offrir un outil pour évaluer les différentes mesures de confinements adoptées par l'état algérien pour faire face à la pandémie Covid-19, et d'évaluer l'efficacité des mesures du confinement imposées.

Pour répondre à la problématique, nous avons effectué une étude sur trois domaines, à savoir, la simulation, la simulation à base des systèmes multi agents et la pandémie Covid-19.Nous avons ensuite entamé la conception et la réalisation de notre système en suivant un processus en cascade, en choisissant le langage UML comme langage de modélisation et en choisissant NetLogo comme environnement de réalisation. Les résultats obtenus montrent le principe de vague permet de réduire le nombre de décès et augmenter le nombre de cas non touchés.

Abstract

The objective of this project is to provide a tool for evaluating the various containment measures adopted by the Algerian state to deal with the Covid-19 pandemic, and to assess the effectiveness of the containment measures imposed.

To answer the problem, we carried out a study on three areas, namely, simulation, simulation based on multi-agent systems and the Covid-19 pandemic. We then started the design and construction of our system by following a cascade process, by choosing UML as the modeling language and by choosing NetLogo as the production environment. The results obtained show the principle of wave allows to reduce the number of deaths and increase the number of unaffected cases.

TABLE DES MATIÈRES

RESUME I

ABSTRACT II

TABLE DES MATIÈRES III

TABLE DES FIGURES VIII

LISTE DES TABLEAUX X

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 1: LA SIMULATION 3

1. SYSTEME, MODELE ET MODELISATION 3

1.1. NOTION DU SYSTEME 3

1.1.1. Définition 3

1.1.2. Types du système 3

1.2. MODELE ET MODELISATION 4

1.2.1. Types de modèle 5

2. LA SIMULATION 9

2.1. DEFINITIONS 9

2.1.1. Définition 01 9

2.1.2. Définition 02 10

2.2. HISTOIRE 10

2.3. QUAND SIMULER 12

2.4. DOMAINE D'APPLICATION 12

2.5. LES ETAPES D'UNE ETUDE DE SIMULATION 13

2.6. LES LOGICIELS DE LA SIMULATION 19

2.7. EXEMPLES SUR LA SIMULATION 22

2.7.1. Une simulation 3D pour la chirurgie et l'éducation assistées par ordinateur 22

2.7.2. Simulation boursière à l'aide de machines à vecteurs de support 24

2.8. AVANTAGES ET LIMITES DE LA SIMULATION 26

2.8.1. Avantage 26

2.8.2. Limite 26

CONCLUSION 27

CHAPITRE 2 : LA SIMULATION A BASE DES SYSTEMES MULTI-AGENTS 28

INTRODUCTION 28

1. LA NOTION D'AGENT 28

1.1. DEFINITION 28

1.2. ENVIRONNEMENT 28

1.3. CARACTERISTIQUE DES AGENTS 30

1.4. CLASSIFICATION DES AGENTS 30

2. LES SYSTEMES MULTI-AGENTS 31

2.1. DEFINITIONS 31

2.1.1 Définition 01 31

2.1.2. Définition 02 32

2.2. LES CARACTERISTIQUES D'UN SYSTEME MULTI-AGENT 33

2.3. INTERACTION DANS UN SYSTEME MULTI-AGENT 33

2.3.1. Types d'interaction 34

2.4. LE FONCTIONNEMENT DANS UN SYSTEME MULTI-AGENT 34

2.5. LA PLATEFORME D'UN SYSTEME MULTI-AGENT 35

2.6. LES CINQ PROBLEMATIQUES DES SMA 36

2.7. DOMAINE D'APPLICATION D'UN SYSTEME MULTI-AGENT 37

3. SIMULATION MULTI-AGENT 38

3.1. DEFINITION 38

3.2. LES METHODOLOGIES DE LA SIMULATION MULTI-AGENT 39

3.3. CARACTERISTIQUE DE LA SIMULATION MULTI-AGENT 40

3.4. LE SYSTEME MULTI-AGENT ET LA SIMULATION DE VILLE OPEN CITY : (EXEMPLE) 40

3.5. AVANTAGES ET LIMITES DES SMA 42

3.5.1. Avantage et objectif 42

3.5.2. Limite 42

CONCLUSION 43

CHAPITRE 3 : LE COVID-19 44

INTRODUCTION 44

1. LE CORONAVIRUS COVID-19 44

1.1. LE CORONAVIRUS 44

1.2. LE CORONAVIRUS DANS LE MONDE 45

1.2.1. La crise sanitaire et ses conséquences à travers le monde 45

1.3. MECANISME DE CONTAGION DU VIRUS 46

Mode de transmission 46

1.4. COVID-19 EN ALGERIE 48

1.4.1. L'origine et les premiers cas 48

1.4.2. Morbidité 48

1.4.3. Taux de mortalité 50

1.5. LES CARACTERISTIQUES DES PATIENTS DU COVID-19 50

1.6. LES MESURES DE CONFINEMENT EN ALGERIE, LE CONFINEMENT DU MARS 2020 51

CONCLUSION 53

CHAPITRE 4 : PROBLEMATIQUE, DEMARCHE ET ANALYSE 54

INTRODUCTION 54

1. PROCESSUS EN CASCADE 54

2. PROBLEMATIQUE 56

3. LA SIMULATION A BASE DES SMA 61

4. ANALYSE DE LA PROBLEMATIQUE 62

4.1. UNE DECOMPOSITION DU PHENOMENE COVID-19 62

4.2. PROJECTION SUR UNE ACTIVITE DONNEE : ENSEIGNEMENT PAR VAGUES AU NIVEAU DES UNIVERSITES 63

4.3. LA MODELISATION DE CHACUN DE CES ELEMENTS PAR UN AGENT 64

4.4. LA DEFINITION DE L'ESPACE 66

4.5. LA DEFINITION DES OBJETS INERTES 66

5. SIMULATION DE LA MALADIE 66

6. FONCTIONNALITES DESIREES 67

7. ARCHITECTURE 67

8. CAS D'UTILISATION 68

8.1. LES ACTEURS 68

8.2. LISTE DES CAS D'UTILISATION 68

8.3. LE DIAGRAMME DES CAS D'UTILISATION 68

8.4. DESCRIPTION DES CAS D'UTILISATION 69

8.4.1. Configuration et paramétrage 69

8.4.2. Exécution de la simulation 70

CONCLUSION 71

CHAPITRE 5 : CONCEPTION 72

INTRODUCTION 72

1. CONCEPTION DE LA SIMULATION 72

2. ALGORITHMES DES DIFFERENTS PHENOMENES 73

2.1. ALGORITHME DEPLACEMENT 73

2.2. ALGORITHME PROPAGATION 73

2.3. ALGORITHME : EVOLUTION 75

2.4. ENSEIGNEMENT PAR VAGUE 77

3. FONCTIONNEMENT DU SYSTEME 77

4. DIAGRAMME DE CLASSES DE LA SIMULATION 78

5. DIAGRAMME D'ETAT TRANSITION 80

6. DIAGRAMME DE SEQUENCE DETAILLEE 81

6.1. CAS D'UTILISATION : CONFIGURATION ET PARAMETRAGE 81

6.2. CAS D'UTILISATION : EXECUTION DE LA SIMULATION 82

CONCLUSION 83

CHAPITRE 6 : REALISATION 84

INTRODUCTION 84

1. NETLOGO 84

1.1. DESCRIPTION 84

1.2. FONCTIONNALITES DU NETLOGO 85

1.3. BIBLIOTHEQUE DE MODELES NETLOGO 86

2. REPRISE DE NOTRE CONCEPTION SOUS NETLOGO 86

3. EXEMPLE 87

4. UTILISATION DE NETLOGO 88

4.1. STRUCTURE D'AGENT SIMPLE 88

4.2. SIMULATION NETLOGO 90

5. QUELQUE CAPTURE DE NOTRE APPLICATION 90

6. DISCUSSION DES RESULTATS 93

CONCLUSION 94

CONCLUSION GENERALE 95

BIBLIOGRAPHIE 96

ANNEXE 1 : PRESENTATION DU NET LOGO 98

ANNEXE 2 : LES FONCTIONS LES PLUS COURANTS 101

TABLE DES FIGURES

Figure 1: Méthodologie d'une simulation..... 10

Figure 2: Historique de la simulation..... 11

Figure 3:La formulation d'un problème 14

Figure 4: schéma fonctionnel servant de support à l'élaboration d'un modèle : le cas d'une intersection. 15

Figure 5: Les différentes étapes de la validation 17

Figure 6: Les étapes d'une étude de simulation 19

Figure 7:Les différents niveaux d'utilisation de la simulation 20

Figure 8: Système de simulation..... 24

Figure 9: Architecture d'un environnement..... 29

Figure 10: Architecture d'un SMA 33

Figure 11: Les éléments dans la simulation multi-agent 39

Figure 12: Arrestation d'un agent voleur par les policiers 41

Figure 13: Transmission aérienne du Covid-19..... 47

Figure 14: Les gouttelettes sont des modes de transmission clés du virus Covid-19..... 47

Figure 15: Cas quotidiens confirmés de Covid-19 en Algérie (en bleu) 49

Figure 16: Distribution des patients positifs au Covid-19 en fonction de leur âge..... 49

Figure 17: Nombre des décès du Covid-19 en Algérie (en rouge) 50

Figure 18: Processus en cascade. 55

Figure 19: Diagramme de cas d'utilisation 68

Figure 20: Diagramme de séquence (configuration et paramétrage)..... 69

Figure 21: Diagramme de séquence (exécution de simulation)..... 70

Figure 22: Algorithme de déplacement..... 73

Figure 23: Algorithme de propagation..... 74

Figure 24: Algorithme évolution 76

Figure 25: Diagramme d'activité..... 78

Figure 26: Diagramme de classe (enseignement sans vague)..... 79

Figure 27: Diagramme de classe (enseignement avec vague) 80

Figure 28: Diagramme d'état transition 81

Figure 29: Diagramme de séquence détaillé (configuration et paramétrage) 82

Figure 30:Diagramme de séquence détaillé (exécution de la simulation) 83

Figure 31: La structure d'un agent NETLOGO 89

Figure 32:L'interface de l'application 91

Figure 33: Exécution (sans vagues) 91

Figure 34:Exécution (avec vagues)..... 92

Figure 35:Résultat (sans vagues) 92

Figure 36: Résultat (avec vagues)..... 93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Types de modèles mathématiques 8

Tableau 2: Les différents domaines d'applications de la simulation 13

Tableau 3: Comparaison entre agent cognitif et agent réactif 31

Tableau 4: Les mesures de confinements en Algérie..... 52

Tableau 5: Les différents symptomes chez les personnes atteintes du Covid-19 59

INTRODUCTION GENERALE

Avec l'explosion de la puissance informatique et l'effondrement des coûts associés, la simulation a envahi tous les domaines de la science et on la rencontre désormais au quotidien. Elle se trouve dans divers domaines tels que l'analyse des systèmes de services, les systèmes de production, les systèmes naturels, les systèmes informatiques et les systèmes sociaux économiques.

Il s'agit d'une démarche scientifique, qui inclut la reproduction artificielle du phénomène réel que les gens veulent étudier, appelé modèle, pour observer le comportement de cette réplication lorsque certains paramètres changent. Par conséquent, le processus de simulation passe par trois phases différentes : la phase de modélisation, qui consiste à établir un modèle du phénomène à étudier, la phase expérimentale, qui consiste à soumettre le modèle à certain type de changement, et l'étape de validation, qui consiste à confronter les données obtenues à partir du modèle comparer avec la réalité.

La simulation est reconnue comme l'un des outils d'aide à la décision les plus efficaces à la disposition des concepteurs et des gestionnaires des systèmes complexes. Elle consiste à construire un modèle d'un système réel et à conduire des expériences pour évaluer les performances ou prédire le comportement de leurs organisations sans savoir à mettre ces dernières face à un risque réel ou à supporter des couts supplémentaire pour une expérimentation concrète.

La pandémie Covid-19 représente un excellent exemple où la simulation peut aider à évaluer les performances des politiques suivies avec un faible coût. Le Covid-19 une maladie infectieuse causée par le coronavirus. Détecté pour la première fois à Wuhan en Chine. Après la Chine, la COVID-19 s'est étendue à travers le monde. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a déclaré, le 11 mars 2020, que l'éclosion de COVID-19 est devenue une pandémie.

C'est également une maladie respiratoire pouvant être mortelle chez les patients fragilisés par l'âge ou une autre maladie chronique. Elle se transmet par contact rapproché avec des personnes infectées. La maladie peut également être transmise par des patients asymptomatiques, mais les preuves scientifiques sont insuffisantes pour l'affirmer avec certitude.

Pour faire face à cette pandémie, les états ont forcé des mesures de confinement suivant des recommandations de l'OMS. Néanmoins, ces mesures sont très coûteuses. Elles limitent la vie économique, sociale et culturelle. Cela engendre une pression sur la société.

Dans notre projet, nous visons à concevoir et réaliser un système qui permet de simuler la propagation du Covid-19. L'objectif est d'évaluer l'efficacité des mesures du confinement imposées.

Pour mener à bien notre étude, nous allons effectuer une étude théorique pour pouvoir découvrir les notions liées à la simulation d'un côté et au Covid-19 de l'autre. Cette étude théorique constituera le fondement de notre contribution, à savoir, la conception et la réalisation d'un système de simulation du Covid-19 avec prise en compte des mesures du confinement. Ainsi, notre mémoire sera organisé comme suit :

- Le premier chapitre présente une étude théorique englobant les définitions et les évolutions des notions principales liées à la simulation.
- Le deuxième chapitre est consacré à la simulation à base des systèmes multi-agents.
- Le troisième chapitre aborde les différents enjeux liés à la pandémie Covid-19, ainsi que les mesures adoptées.
- Le quatrième chapitre présente les détails de la problématique ainsi que son analyse.
- Le cinquième chapitre présente la conception du système.
- Enfin le dernier le sixième chapitre détaille la mise en œuvre de notre projet.

CHAPITRE 1: LA SIMULATION

Introduction

Aujourd'hui, avec le développement technologique, les organisations deviennent de plus en plus complexes, des méthodes d'analyse trop restrictive peuvent aider lors de l'évaluation approximative des performances envisagées du système. D'autre part, les outils de simulation peuvent apporter des connaissances sur le comportement du système étudié aux différents acteurs du projet, selon les normes et les besoins de chacun. Si la simulation est une aide à la conception, elle est aussi une aide à l'exploitation.

Dans ce chapitre nous étudions le domaine de la simulation. En premier lieu, nous définissons le concept du système, modèle et modélisation, dans un second lieu, nous décrierons la notion de simulation, la méthode de conduite d'un projet de simulation, et les différentes classes de logiciels de simulation.

1. Système, modèle et modélisation

1.1. Notion du système

1.1.1. Définition

Le mot ''système'' couvre un champ d'application immense et de nombreuses définitions lui ont été attribuées dans la littérature. Comme définition d'un système nous retenons celle donnée par l'AFCET et qui s'énonce comme suit : «*Un système est une entité complexe traitée comme une totalité organisée, formée d'éléments et de relations entre ceux-ci, les uns et les autres étant définis en fonction de la place qu'ils occupent dans cette totalité et cela de telle sorte que son identité soit maintenue face à certaines évolutions*».

Un système est décrit par un ensemble de variables appelés variables d'état, ces derniers permettent de décrire l'état du système à un instant donné. (Belattar, 2004)

1.1.2. Types du système

Il existe différents types de systèmes :

- Un système statique :

Ne change pas avec le temps, c'est-à-dire les variables d'état ne sont pas définies en fonction du temps. Par exemple : modèle comptable permettant de calculer un profit en fin d'exercice à l'aide d'un tableur, les systèmes décrits par la programmation linéaire (affectation, plus court chemin).

- Un système dynamique :

Le temps est un facteur essentiel du comportement et de l'état du système, c'est-à-dire, ses variables changent avec le temps. A l'intérieur des systèmes dynamiques, on distingue:

  - Les systèmes discrets :

Dans lequel l'état ne change qu'à certaines dates. Autrement dit, les variables d'état sont discrètes (discontinues). Par exemple : pour une file d'attente devant un guichet, les variables d'états comme la longueur de cette file d'attente changent de façon discrète. Et les systèmes continus où le changement est permanent ; Les variables d'état changent continuellement. Par exemple la pression atmosphérique et la position d'une planète dans son orbite etc.

  - Les systèmes déterministes :

C'est celui où l'état futur est connu à l'avance ou prévisible, c'est-à-dire, à qu'il est facile de déterminer avec certitude l'état prochain à partir de l'état actuel (un seul état futur correspondant). Autrement dit, aucune variable de ce modèle n'est aléatoire.

  - Les systèmes stochastiques (non déterministes, aléatoires ou probabilistes) :

Où l'état prochain n'est pas connu avec certitude, il est donc imprévisible, le mécanisme de changement d'état est régi par les lois de probabilité. Donc, plusieurs états futurs sont candidats.

1.2. Modèle et modélisation

La modélisation consiste à construire une représentation simplifiée d'un système appelée généralement « modèle ». L'AFCET défini un modèle par l'énoncé suivant : (Belattar, 2004)

«Un modèle est un schéma, i.e. une description mentale (intériorisée), ou figure (diagrammes, formules mathématiques, etc.) qui, pour un champ de questions, est pris comme une représentation abstraite d'une classe de phénomènes, plus ou moins habilement dégagés de leur contexte par un observateur pour servir de support à l'investigation, et/ou la communication».

Un modèle est donc une représentation d'un système (réel ou imaginaire) dont le but est d'expliquer et de prédire certains aspects du comportement de ce système. Cette représentation est plus ou moins fidèle car d'une part, le modèle devra être assez complet afin de pouvoir répondre aux diverses questions qu'on peut se poser sur le système qu'il représente, et d'autre part, il ne doit pas être trop complexe pour pouvoir être facilement manipulé. Ceci implique qu'il y a un intérêt à bien définir les limites ou les frontières du modèle qui est censé représenter le système (Korichi, 2009).

1.2.1. Types de modèle

Certains modèles sont des répliques des propriétés physiques (forme relative, forme et poids) de l'objet qu'ils représentent. D'autres sont des modèles physiques mais n'ont pas la même apparence physique que l'objet de leur représentation. Un troisième type de modèle concerne les symboles et les relations et expressions numériques. Chacun d'entre eux s'inscrit dans une classification globale de quatre catégories principales : modèles physiques, modèles schématiques, modèles verbaux et modèles mathématiques.(Kosmidou)

- Modèle physique :

Les modèles physiques sont ceux qui ressemblent à l'objet fini qu'ils représentent. Les modèles iconiques sont des répliques exactes ou extrêmement similaires de l'objet modélisé. Les maquettes d'avions, de voitures, de bateaux et même de super-héros de bandes dessinées ressemblent exactement à leurs homologues, mais à une échelle beaucoup plus petite. Les modèles à l'échelle de bâtiments municipaux, de centres commerciaux et d'aménagements immobiliers tels que des lotissements, des maisons et des complexes de bureaux ressemblent tous, si tout va bien, à ce à quoi ressemblera le "vrai objet" lorsqu'il sera construit. L'avantage ici est la correspondance des modèles avec la réalité de l'apparence. En d'autres termes, l'utilisateur du modèle peut savoir exactement à quoi ressemblera l'objet proposé, en trois dimensions, avant de faire un investissement important.

En plus de ressembler à l'objet qu'ils représentent, certains modèles fonctionnent comme leurs homologues. Cela permet de mener des expériences sur le modèle pour voir comment il pourrait se comporter dans des conditions d'exploitation réelles. Les modèles réduits d'avions peuvent être testés en soufflerie pour déterminer les propriétés aérodynamiques et les effets des turbulences de l'air sur leurs surfaces extérieures. Des modèles réduits d'automobiles peuvent être

soumis à des tests similaires afin d'évaluer comment la résistance au vent affecte des variables telles que la maniabilité et la consommation d'essence. Les modèles de ponts et de barrages peuvent être soumis à de multiples niveaux de stress dus au vent, à la chaleur, au froid et à d'autres sources afin de tester des variables telles que l'endurance et la sécurité. Un modèle réduit dont le comportement est similaire à celui d'une "vraie chose" est beaucoup moins coûteux à créer et à tester que son homologue réel. Ces types de modèles sont souvent appelés des prototypes.

En outre, certains modèles physiques peuvent ne pas ressembler exactement à l'objet qu'ils représentent, mais en sont suffisamment proches pour être utiles. Plusieurs travaux d'art moderne représentent un objet de la réalité, mais sont si différentes que de nombreuses personnes ne peuvent pas distinguer clairement l'objet qu'elles représentent. On les appelle des modèles analogiques. Par exemple, on utilise des découpes de carton pour représenter les machines utilisées dans une usine de fabrication. Cela permet aux planificateurs de déplacer suffisamment les formes pour déterminer une disposition optimale de l'usine.

- Modèle schématique :

Les modèles schématiques sont plus abstraits que les modèles physiques. Bien qu'ils aient une certaine correspondance visuelle avec la réalité, ils ressemblent beaucoup moins à la réalité physique qu'ils représentent. Les graphiques et les diagrammes sont des modèles schématiques qui fournissent des représentations picturales de relations mathématiques. Le tracé d'une ligne sur un graphique indique une relation mathématique linéaire entre deux variables. Deux lignes de ce type peuvent se rejoindre à un endroit précis sur un graphique pour indiquer le seuil de rentabilité, par exemple. Les diagrammes circulaires, les diagrammes à barres et les histogrammes peuvent tous modéliser une situation réelle.

Les diagrammes, les dessins et les plans sont également des versions de modèles schématiques. Il s'agit de représentations picturales de relations conceptuelles. Cela signifie que le modèle dépeint un concept tel que la chronologie ou la séquence. Un organigramme décrivant un programme informatique en est un bon exemple. Les diagrammes de précédence utilisés dans la gestion de projet ou dans l'équilibrage de la chaîne de montage montrent la séquence des activités qui doivent être maintenues afin d'atteindre un résultat souhaité.

- Modèles verbaux :

Les modèles verbaux utilisent des mots pour représenter un objet ou une situation qui existe, ou pourrait exister, dans la réalité. Les modèles verbaux peuvent aller d'une simple présentation en mots d'un paysage décrit dans un livre à un problème complexe de décision commerciale (décrit en mots et en chiffres). L'énoncé de mission d'une entreprise est un modèle de ses croyances quant à son activité et prépare le terrain pour la détermination des buts et des objectifs de l'entreprise.

Les modèles verbaux fournissent souvent le scénario nécessaire pour indiquer qu'un problème est présent et fournissent toutes les informations pertinentes et nécessaires pour résoudre le problème, faire des recommandations ou au moins déterminer des alternatives réalisables. Même les cas présentés dans les manuels de gestion sont en fait des modèles verbaux qui représentent le fonctionnement d'une entreprise sans avoir à emmener l'étudiant dans les locaux réels de l'entreprise. Souvent, ces modèles verbaux fournissent suffisamment d'informations pour que le problème soit ensuite représenté sous forme mathématique. En d'autres termes, les modèles verbaux sont souvent convertis en modèles mathématiques afin qu'une solution optimale, ou du moins fonctionnelle, puisse être trouvée à l'aide d'une technique mathématique. Dans n'importe quel livre mathématique, de gestion des opérations ou de sciences de la gestion permet généralement de trouver des problèmes qui apparaissent sous forme verbale. Le travail de l'étudiant consiste à convertir le problème verbal en un problème mathématique et à chercher une solution.

- Modèle mathématique :

Les modèles mathématiques sont les plus abstraite des quatre classifications. Ces modèles ne ressemblent pas du tout à leurs homologues de la vie réelle. Les modèles mathématiques sont construits à l'aide de chiffres et de symboles qui peuvent être transformés en fonctions, équations et formules. Ils peuvent également être utilisés pour construire des modèles beaucoup plus complexes tels que des matrices ou des modèles de programmation linéaire. L'utilisateur peut ensuite résoudre le modèle mathématique (chercher une solution optimale) en utilisant des techniques simples comme la multiplication et l'addition ou des techniques plus complexes comme l'algèbre matricielle ou l'élimination gaussienne. Comme les modèles mathématiques sont souvent faciles à manipuler, ils sont appropriés pour être utilisés avec des calculatrices et des programmes informatiques. Les modèles mathématiques peuvent être classés en fonction de leur utilisation

(description ou optimisation), de leur degré d'aléa (déterministe ou stochastique) et de leur degré de spécificité (spécifique ou général). Vous trouverez ci-dessous une discussion plus détaillée des types de modèles mathématiques.

Tableau 1: Types de modèles mathématiques

Modèle	**Objectif**	**Approche**	**Exemple**
Descriptif	Décrire quelque chose de façon mathématique	la moyenne, la médiane, le mode, l'étendue et l'écart type	Les bilans, les comptes de résultat et les ratios financiers
Optimisation	Trouver une solution optimale	Les modèles de programmation linéaire sont des représentations mathématiques de problèmes d'optimisation avec contraintes	Le directeur d'une entreprise souhaite déterminer la quantité de chaque ordinateur à produire afin de maximiser le profit généré par leur vente. Afin de développer un modèle approprié
Déterministe	La valeur de leurs variables est connue avec certitude aussi les valeurs ne sont pas connues avec certitude	Modèle d'optimisation déterministe, modèle stochastique ou probabiliste	un fabricant qui a du mal à décider s'il doit construire une grande ou une petite installation sait que la solution à ce problème de capacité dépend du volume de la demande qui se matérialise
Spécifique	s'applique à une seule situation ou modélise une seule réalité	profit (descriptive), de fonction d'objectif (optimisation) et de matrice de gain (probabiliste)	Les modèles de programmation linéaire peuvent être qualifiés de spécifiques déterministes, tandis que les arbres de décision peuvent être

			appelés modèles spécifiques probabilistes.
Généraux	Utiliser dans plus d'une situation.	Les modèles EOQ identifient la quantité optimale à commander en minimisant la somme de certains coûts, le modèle d'intervalle de commande fixe (FOI)	la question de la quantité à commander, la question de la quantité à commander pour le prochain intervalle

2. La simulation

2.1. Définitions

2.1.1. Définition 01

D'après «Le Robert», dictionnaire historique de la langue française, le verbe « simuler » est emprunté au XIVe siècle au latin classique simulare avec les sens de : « représenter exactement », « copier », « imiter », « feindre », « prendre l'apparence de » ; « donner pour réel ce qui n'est pas, en imitant l'apparence de la chose à laquelle on veut faire croire ». L'adjectif « simulé » semble plus usité que le verbe au moins jusqu'au XVIIIe siècle, et s'applique couramment à : « ce qui est feint » ; «imité » (Rabelais).

La simulation est définie dans Larousse :

Imitation volontaire ou semi-volontaire d'un trouble mental ou physique; Représentation du comportement d'un processus physique, industriel, biologique, économique ou militaire au moyen d'un modèle matériel dont les paramètres et les variables sont les images de ceux du processus étudié. (Les modèles de simulation prennent le plus souvent la forme de programmes d'ordinateurs auxquels sont parfois associés des éléments de calcul analogique.) ; Dissimulation, par les parties, d'un contrat secret (contre-lettre) sous le couvert d'un acte apparent.

Plus simplement, la simulation est l'action de simuler. C'est la représentation modélisée d'un phénomène, que l'on reproduit expérimentalement en conditions réelles avec des apprenants dans le but d'en tirer un bénéfice pédagogique. [Dictionnaire]

2.1.2. Définition 02

La simulation est une technique de modélisation très puissante pour l'analyse et la conception des systèmes. Elle peut être appliquée dans divers domaines tels que l'analyse des systèmes de services (Banques, téléphonie), systèmes de production (ou de fabrication), systèmes naturels (biologiques, écologiques), systèmes informatiques (d'exploitation, de communications et leurs protocoles, etc.).(Mellit, 2021)

D'une autre part la simulation est une imitation d'un système réel et complexe en suivant un modèle abstrait. Aussi, c'est une approche unique et puissante pour évaluer le comportement d'un système complexe (Bourebia, January 2, 2021)

2.2. Histoire

La simulation est un moyen d'apprentissage utilisé depuis de nombreuses années dans d'autres domaines « à risque ». Les modalités de simulation sont très différentes, mais elles ont permis de répondre à un double objectif : d'une part l'amélioration de la sécurité dans ces secteurs dits « à risque », et d'autre part la réduction des coûts de formation dans ces domaines.

La simulation en aéronautique : L'aéronautique est considérée comme le berceau de la simulation professionnelle à grande échelle. (Modélisation et simulation de systèmes de production)

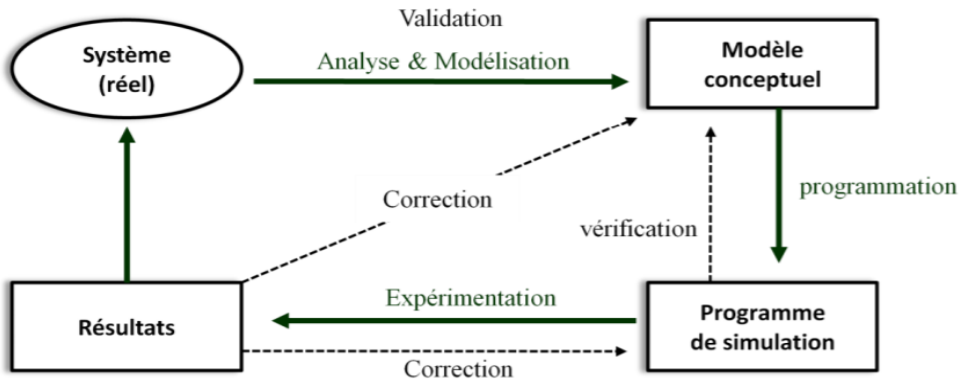


Figure 1: Méthodologie d'une simulation

Plusieurs facteurs ont contribués à l'augmentation de l'utilisation de la simulation dont on cite : (Modélisation et simulation de systèmes de production)

- Croissance de la conscience et de la compréhension des nouvelles technologies (automatisation).
- Augmentation de la disponibilité, de la capacité et de la facilité d'utilisation des logiciels de simulation. - Augmentation des capacités en mémoire et en vitesse de traitement des ordinateurs (surtout au niveau des PC).
- Chute des coûts des ordinateurs.
- Adoption répandue des micro-ordinateurs.
- Disponibilité de l'animation graphique.

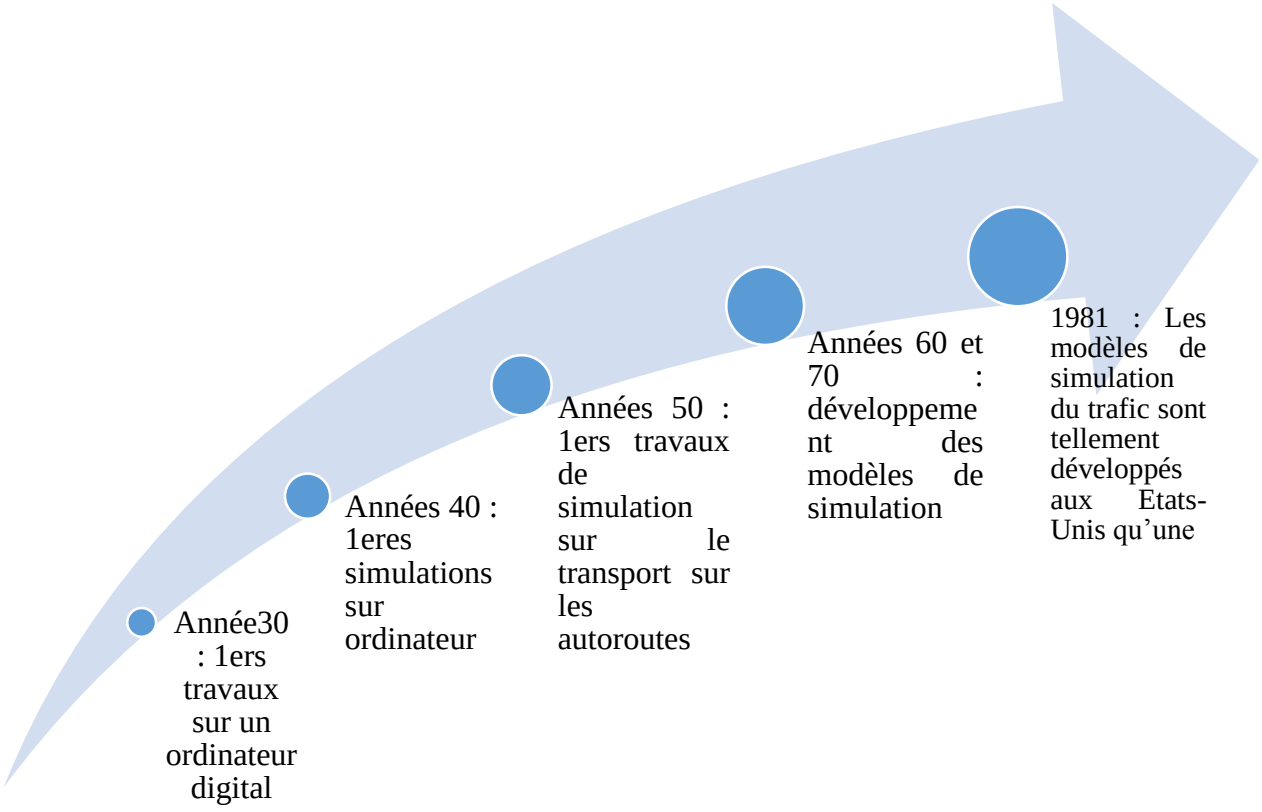


Figure 2: Historique de la simulation

2.3. Quand simuler

Toute étude de simulation suppose que l'on ait identifié clairement les caractéristiques du système qui sont nécessaires à la détermination des performances recherchées. La simulation est très utile dans les cas suivants : (Korichi, 2009)

- Le système n'est pas décomposable en sous-systèmes plus simples et indépendants les uns des autres. C'est la condition essentielle qui impose une simulation de ce système. Au contraire, un système décomposable sera appréhendé après décomposition en ses éléments constitutifs.
- Le système n'existe pas encore et une étude préliminaire (phase de conception) est en cours
- Les expériences sur le système réel coûtent cher, ou sont impossibles à réaliser pendant son fonctionnement
- Le système est inaccessible

2.4. Domaine d'application

Les différents domaines d'applications de la simulation sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 2: Les différents domaines d'applications de la simulation

Région	Domaine d'application de la simulation
Systèmes informatiques	Les composants «hardware», les logiciels, le réseau du hardware», les bases de données et la gestion, le processus d'information, la fiabilité des «hardwares» et des logiciels, etc.
Domaines manufacturiers	Systèmes de manutention, les lignes d'assemblage, les installations de production automatisées, les installations de stockage, les systèmes de contrôle d'inventaire, l'étude de fiabilité et de maintenance, le plan d'aménagement, le design des machines, etc.
Les affaires	Analyse des stocks et des commodités, la politique des prix, les stratégies de marketing, les études d'acquisition, le "cash-flow", les prévisions, les alternatives de transport, la planification de la main-d'œuvre, etc.
Gouvernement	Les armes militaires et leurs utilisations, les stratégies militaires, planification de la population, l'utilisation des terres, la distribution des soins médicaux, la protection contre les feux, services de polices, etc.
Ecologie et environnement	La pollution des eaux et leur purification, contrôle des déchets, la pollution de l'air, le contrôle des empoisonnements, les réductions du temps, les explorations minérales et leur extraction, les systèmes d'énergie solaires, etc.
Sociale et comportement	Analyse de nourriture/population, les politiques d'éducation, structures organisationnelles, analyse du système social, les administrations universitaires.
Biosciences	Les analyses des performances du sport, le contrôle des maladies, les cycles de vie biologiques, les études biomédicales, etc.

2.5. Les étapes d'une étude de simulation

- **L'identification du problème**

  Il faut définir le problème explicitement :

  - Quelles sont les sorties désirées ?

- Quelles entrées affectent les sorties ?
- Quelles sont les limites temporelles et spatiales du problème ?
- Y a-t' il d'importants éléments stochastiques dans la procédure ?
- Les particules individuelles sont-elles besoin d'être modélisées ?
- Des files d'attente sont-elles impliquées ?
- Les conditions de trafic varient-elles au cours du temps ?

- **La simulation est-elle appropriée à la résolution du problème ?**

  Il faut se poser certaines questions :

  - Comment le problème pourrait-il être résolu sans simulation ?
  - Pourquoi la simulation est-elle la meilleure solution ?
  - Comment d'autres ont-ils déjà résolu ce type de problème ?
  - Le problème peut-il réellement être résolu ?

- **La formulation du problème :**

  On réalise d'abord un graphique composé des trois activités reliées :

Figure 3:La formulation d'un problème

Ceci a pour but d'identifier toutes les entrées dont on a besoin pour le modèle et d'y associer les sorties pour pouvoir collecter les données à l'étape suivante. Les entrées incluent généralement les éléments de design d'une installation, les conditions de demande de trafic, les règles d'opération et/ou les contrôles et les conditions de l'environnement. Les sorties dépendent du type de problème mais peuvent inclure des mesures d'efficacité comme le temps de parcours, le retard, la consommation d'essence, les accidents, la pollution, le bruit, la longueur de la queue, les arrêts, etc.

- **Collecte et entrée des données :**

La collecte des données se base sur les entrées et sorties définies précédemment. On procède comme suit : Observer le système de trafic à étudier et collecter au début seulement un

échantillon de données. Faire une revue de littérature sur les simulations et études précédentes. Faire un plan de collecte des données. Adapter la taille des échantillons à la calibration et la validation. Etudier les données collectées pour qu'elles soient compatibles avec les besoins du modèle de simulation (calcul de centre et de déviation, analyses des distributions, régressions, conversion des unités).

- **Formulation d'un modèle mathématique :**

  Etape la plus importante et la plus longue. Elle consiste à:

  - Se concentre sur la procédure qui relie l'entrée à la sortie.
  - Identifie ensuite les principales sous-routines et leurs relations.
  - Détaille chaque sous-routine.

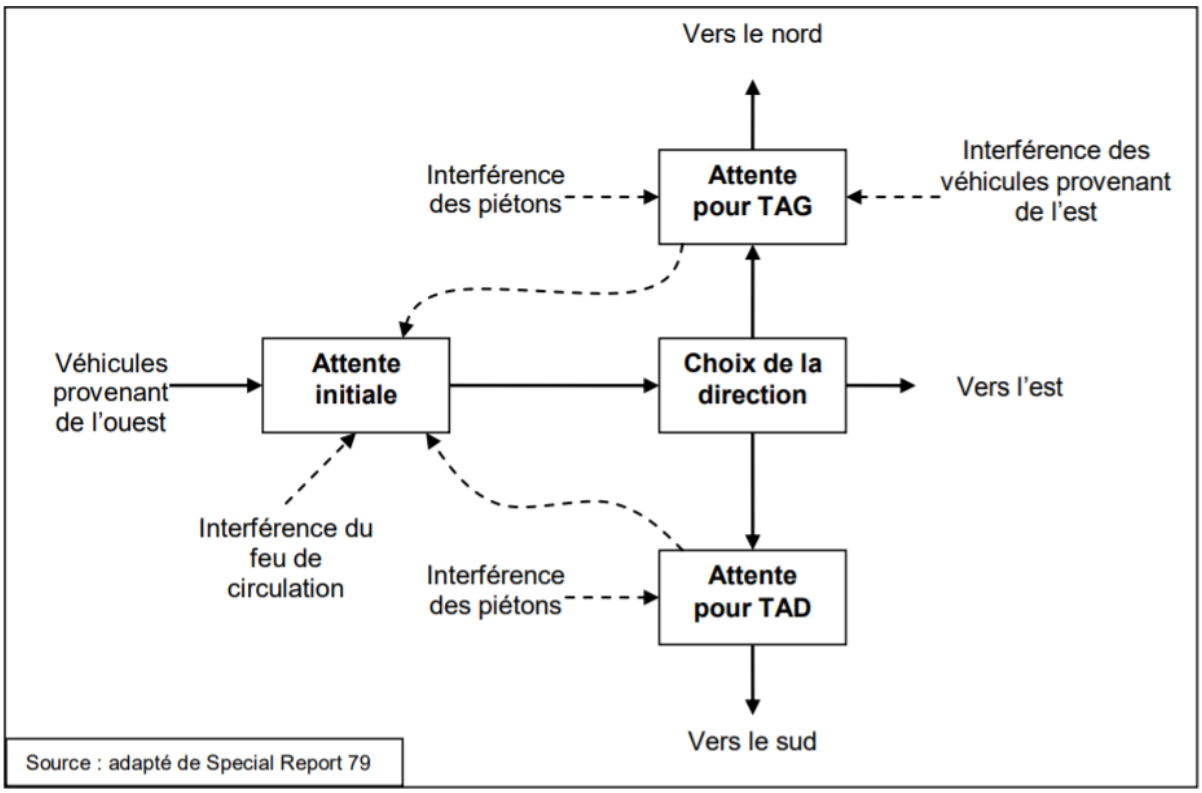


Figure 4: schéma fonctionnel servant de support à l'élaboration d'un modèle : le cas d'une intersection.

- **Estimation des paramètres :**

Certains paramètres sont déterministes alors que d'autres sont stochastiques. Paramètres déterministes : peuvent être constants pour toutes les situations, prendre différentes valeurs constantes selon le type de situation ou peuvent varier de manière continue selon certaines formes de régression. Paramètres stochastiques : ont besoin d'un centre et d'une déviation ainsi que d'une forme de distribution identifiée. Peut être très simple ou au contraire très complexe. La balance entre réalisme et simplicité est souvent testée à ce niveau de la simulation.

- **Evaluation de l'état actuel du modèle :**

Réaliser des solutions calculées à la main pour identifier les boucles incomplètes ou les boucles fermées, pour vérifier la flexibilité de l'entrée des données et des valeurs et pour s'assurer de la cohérence des résultats. On peut alors modifier des variables, des paramètres ou la structure du modèle. A ce stade, on peut décider d'accepter ou de rejeter le modèle développé. Si on rejette le modèle, on peut alors redéfinir certains éléments.

- **Formulation du code informatique :**

Relativement simple si l'étape 5 a été bien réalisée. Il est important de bien choisir le langage informatique. On considère certains facteurs comme la connaissance des langages informatique des développeurs, la disponibilité de compilateurs sur les installations, la compatibilité des caractéristiques du modèle avec le langage de simulation et dans quelle mesure d'autres personnes utiliseront le modèle de simulation sur d'autres installations. Si le programme va être utilisé puis éventuellement modifié par d'autres personnes, il est important d'insérer de nombreux commentaires dans le programme. Finalement, on débugge le code informatique. Pour cela, voici quelques conseils : Debugger une sous routine à la fois et ensuite commencer à les regrouper. Utiliser au départ des données déterministes connues plutôt que des données stochastiques. Effectuer des calculs manuels pour vérifier. Ajouter des sorties intermédiaires temporairement. Regarder plus d'une erreur à la fois. Se souvenir que le code représente une modélisation pour l'instant, pas nécessairement la réalité.

- **Validation :**

Inclut la vérification, la calibration et la validation.

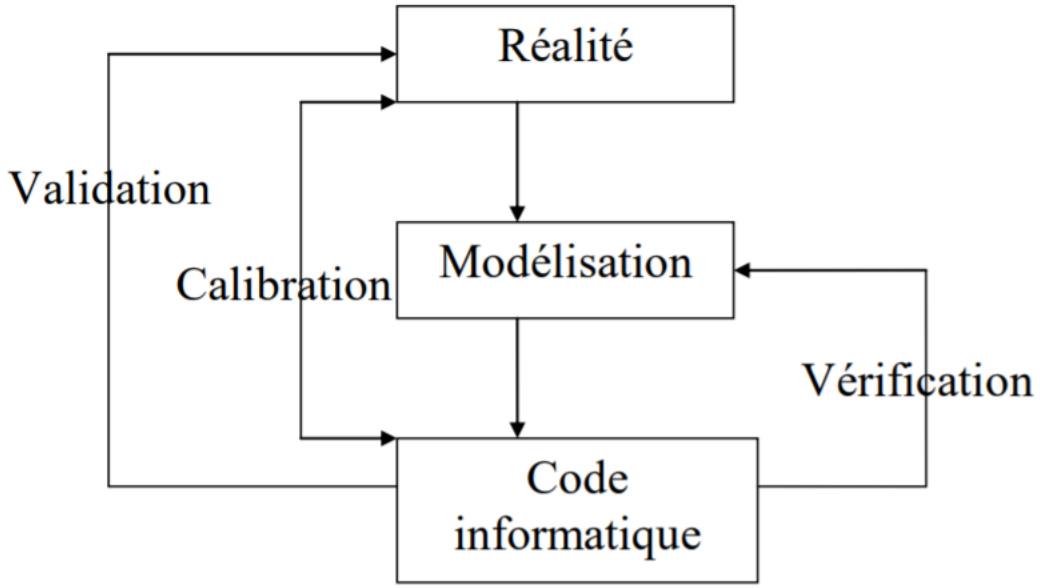


Figure 5: Les différentes étapes de la validation

La vérification est une forme exhaustive du débogage précédent du code. L'objectif est de s'assurer que le code réalise exactement ce que l'on souhaite dans la modélisation. La calibration dépend de la qualité des relevés sur le terrain, de la facilité de compréhension du modèle et de la complexité du modèle étudié. Seule une partie des données peut être utilisée pour la calibration. On peut réaliser des ajustements pour que les sorties correspondent aux observations. La validation permet de comparer les données calculées par l'ordinateur et les données mesurées sur le terrain. Aucun ajustement n'est fait au modèle et les différences montrent dans quelle mesure le modèle représente la réalité avec les conditions choisies. Si les résultats de la validation sont acceptables, le modèle de simulation est prêt pour les applications. Sinon, il faut effectuer d'autres calibrations et validations.

- **La conception des essais :**

Toutes les applications issues de modèles de simulation nécessitent un cadre d'expérimentation. Sa compréhensibilité dépend la taille et de la flexibilité du modèle ainsi que de la complexité et de la variété des situations à évaluer. On peut considérer ces suggestions : Identifier le contrôle des variables. Sélectionner des limites pour chaque variable de contrôle. Sélectionner une taille ou un intervalle pour chaque variable de contrôle. Sélectionner des variables de contrôle primaire et garder les variables de contrôle secondaire comme constantes. Penser à

faire varier les variables de contrôle primaire automatiquement dans les boucles à l'intérieur du code. Penser à introduire une procédure de recherche à l'intérieur du code pour déterminer automatiquement les conditions optimales.

- **Production et analyse des résultats, documentation :**

Toutes les simulations devraient être sauvegardées et le code devrait offrir la possibilité de nommer toutes les sorties de résultat. L'analyse des résultats peut révéler que le code doit être modifié ou qu'il faut utiliser d'autres logiciels pour représenter graphiquement les résultats, pour réaliser des tests statistiques ou pour mettre en forme les résultats. La documentation ne devrait pas seulement contenir les résultats obtenus. Elle devrait également contenir un manuel pour l'utilisateur et pour l'opérateur du système. Toutes les variables devraient être listées et définies, un diagramme de fonctionnement devrait être inséré, le code devrait être fourni ainsi que des commentaires et enfin, un exemple de problème contenant des entrées et des sorties devrait être ajouté.

- **Analyse des résultats de la simulation :**

La plupart du temps, beaucoup de ressources sont allouées (de façon plus ou moins directe) au développement du modèle de simulation mais peu à l'analyse de ses sorties. Attention lorsque le modèle est heuristique : plusieurs sorties sont nécessaires pour analyser correctement la situation. 15 De plus, les sorties sont la plupart du temps auto-corrélées. Donner les intervalles de confiances pour chaque valeur de sortie. (POTEAU)

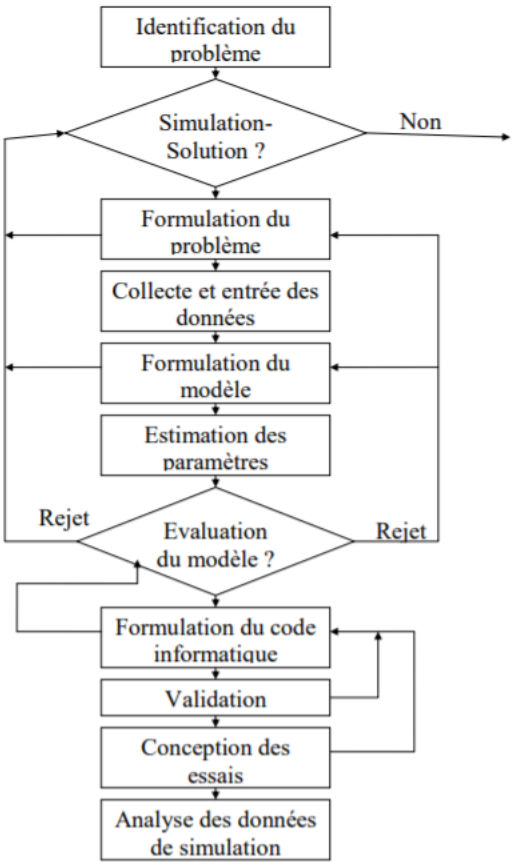


Figure 6: Les étapes d'une étude de simulation

2.6. Les logiciels de la simulation

Le développement d'un modèle de simulation est réalisé à travers un programme écrit par l'utilisateur à partir de primitives de modélisation offertes par le langage (les langages de simulation). Ce type de logiciel offre une grande flexibilité mais avec des coûts de développement parfois importants (Korichi, 2009)

Il est commode de classifier les utilisateurs d'un produit de simulation en trois catégories. Bien sûr il peut se faire que dans la réalité, ces utilisateurs ne soient pas complètement différenciés. En général, au niveau 1 on utilise un langage général de type C. Au niveau 2 on utilise un langage simplifié (ou un langage de simulation) et au niveau 3, on a droit à un environnement type menu et fenêtre de dialogue. Ci-dessous les différents niveaux d’utilisation : (Hamadeh, 27 Octobre.)

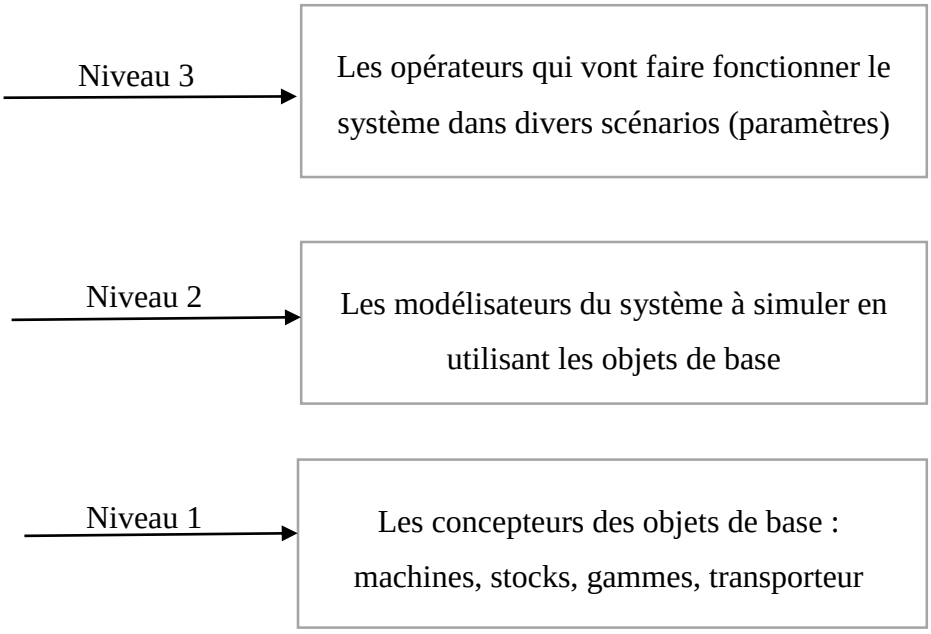


Figure 7:Les différents niveaux d'utilisation de la simulation

On peut classer facilement, selon l'outil de base utilisé, les logiciels de simulation en trois familles :

- Logiciels dédiés écrits en langages généraux :

Face à un type de problèmes particulier, l'utilisateur choisit un logiciel convivial et dédié à ce type de problèmes. Un logiciel dédié permet à l'utilisateur de résoudre facilement un problème, parce que le programmeur du logiciel a déjà fait une partie de la modélisation.

Un logiciel dédié est souvent construit directement à partir d'un langage général (Fortran, Pascal ou C). Cependant, il existe des logiciels dédiés basés sur des langages spécifiques, ils présentent les mêmes qualités et les mêmes inconvénients au niveau de l'utilisateur final que ceux écrits en langages généraux.

L'inconvénient majeur de cette classe de logiciels concerne le nombre de type de problèmes qu'on peut résoudre. Face à un type de problèmes qui sort du cas standard, l'utilisateur se tourne vers un autre logiciel dédié ou fait recours au programmeur afin de lui apporter les modifications nécessaires. On peut citer comme exemple de ce type de programme SIMFLEX (Simulation orientée ateliers flexibles), C.F.M. (simulation de chaînes flexible de montage) développés à l'INRIA par le groupe Systèmes de Production, OASYS et PARSIFAL (simulation d'ateliers de fabrication par lots) développé au Centre d'Études et de Recherches de Toulouse (CERT/DERA).

- Logiciels utilisant un langage spécifique :

Ces logiciels tentent de construire un outil convivial et extensible. Un outil est dit convivial s'il n'exige pas un effort particulier d'apprentissage et est dit extensible s'il permet l'ajout de nouvelles fonctions non prévues au départ. On construit, avec un langage traditionnel, des fonctions pour l'utilisateur (par exemple : saisir une ressource) paramétrables.

On définit un certain nombre de fonctions, plus ou moins abstraites qui constituent avec les règles de synthèse associées un langage spécifique pour la simulation des systèmes. La plupart de tels langages se caractérisent par une symbolique graphique d'une part, une grammaire (comme tout langage de programmation) d'autre part.

Le passage du système graphique au langage est souvent automatisé (c'est le cas par exemple pour les langages SLAM et SIMAN). Un tel langage spécifique constitue un produit très ouvert, pouvant traiter des problèmes aussi différents que l'assemblage ou l'étude des flux d'information dans un réseau, mais pas toujours très convivial car il exige de l'utilisateur un effort (apprendre le langage et l'utiliser en l'adaptant à son problème particulier).

Le constructeur peut décider d'aller plus près de l'utilisateur pour lui offrir un outil convivial. En utilisant un langage spécifique, il développe une couche logicielle dédiée à un certain secteur d'activités. Cette convivialité coûte souvent très cher, l'outil obtenu n'est plus extensible au niveau de l'utilisateur. Les résultats sont le plus souvent présentés sous formes de tables et de graphiques (histogramme et camembert). Certains, grâce à un générateur d'icônes, offrent des possibilités d'animation (par exemple : SLAM et SIMAN).

- Logiciels basés sur les Réseaux de Pétri :

A la différence des simulateurs présentés ci-dessus, les simulateurs basés sur les Réseaux de Pétri (RdP) permettent une analyse du modèle pour vérifier la cohérence par rapport au système physique. On peut citer comme exemple de ce type de simulateurs développés autour de modèles RdP : LORIC, SEDRIC et SICLOP (Korichi, 2009)

L'inconvénient majeur des RdP concerne la représentation des données. En effet, un RdP décrit la structure de contrôle mais pas la structure de données. Il définit l'enchaînement des opérations effectuées sur les données mais pas ces opérations elles-mêmes.

2.7. Exemples sur la simulation

2.7.1. Une simulation 3D pour la chirurgie et l'éducation assistées par ordinateur

La mâchoire est l'une des articulations les plus complexes du corps humain. Ses mouvements de glissement et de glisse sont difficiles à comprendre. Il n'existe donc jusqu'à présent que des simulations mécaniques. Mais il y a un fort besoin d'un modèle informatique de la mâchoire : la mâchoire virtuelle, pour accompagner médecins et chirurgiens dans les diagnostics et la planification préopératoire. Lors de la planification préopératoire des opérations craniofaciales par exemple, les données individuelles du patient doivent être examinées et l'opération doit être simulée. Dans la formation des médecins, un tel système de simulation donne un bien meilleure compréhension de l'anatomie et de la fonctionnalité de la mâchoire que les images statiques des manuels. L'article présente une simulation 3D de l'appareil de mastication humain qui peut être utilisé pour la planification préopératoire des chirurgies craniofaciales ainsi que pour la formation des dentistes et des chirurgiens. Il se compose de trois composants en interaction : Un modèle cinématique qui définit les contraintes de l'articulation, un modèle pour les muscles masticateurs et une interface graphique 3D. (Weingärtner, February 1998). Les points de départ de notre système de simulation sont des ensembles de données de patients individuels enregistrés par un tomographe informatique ou bien un ensemble de données standard qui peut être adapté aux paramètres du patient. Ces données volumétriques sont converties en un ensemble de données de surface pour permettre une visualisation rapide et réaliste. (Müller, 1993). L'environnement de simulation est basé sur SGIs Open Inventor TM et le toolkit KaVis. (Schaude). Pour fournir aux médecins des données fonctionnelles, les mouvements des mâchoires des patients sont enregistrés par un appareil spécifique. Étant donné que les coordonnées de points uniques sur la mâchoire sont fournies par le Condylocomp, les enregistrements doivent être convertis en coordonnées homogènes et pour chaque pas de temps, une translation et une rotation de la position initiale doivent être calculées. Ces transformations sont appliquées à la mâchoire virtuelle dans l'environnement de simulation et permettent une visualisation directe des enregistrements. De plus, notre simulation permet la visualisation des muscles masticateurs lors du mouvement de la mâchoire, des fils musculaires ou des surfaces flexibles peuvent être inclus dans le modèle l'utilisation de cette partie du système de simulation permet l'analyse des mouvements musculaires. Les informations de longueur et de vitesse des mouvements musculaires sont enregistrées et affichées sous forme de graphiques pour soutenir l'analyse. Cette fonctionnalité permet la détection

des anomalies musculo-squelettiques et est pertinente pour les diagnostics. De plus, le système de simulation permet de modifier les points d'attache des muscles pour visualiser les relocalisations des muscles masticateurs, ce qui est une fonction très utile pour la planification préopératoire des déplacements de la mâchoire. Actuellement, une simulation dynamique est développée qui permet de calculer les forces et les moments agissant sur la mâchoire. Les résultats obtenus jusqu'à présent sont très prometteurs. Les données réelles des patients pour l'évaluation des modèles utilisés et des ensembles de données géométriques ont prouvé que les données physiologiques et pathologiques peuvent être intégrées et visualisées. L'exactitude du modèle cinématique a été vérifiée par des données réelles de patients. (Dillmann, Jan. 1997). Pour suivre plus facilement le mouvement de la mâchoire, des points sur la mâchoire peuvent être marqués et leur chemin au cours du mouvement est tracé. Une analyse des mouvements musculaires pendant le mouvement de la mâchoire a été réalisée pour obtenir plus de données sur les vitesses et les orientations des muscles masticateurs. Comme il n'existe pas de simulations ou de littératures comparables, une évaluation doit être effectuée en utilisant différentes données de patients. Au moment où d'autres données provenant des personnes testées sont enregistrées et appliquées au système de simulation. La forme des muscles sera évaluée à l'aide d'images IRM qui seront enregistrées pendant le cycle de mastication.

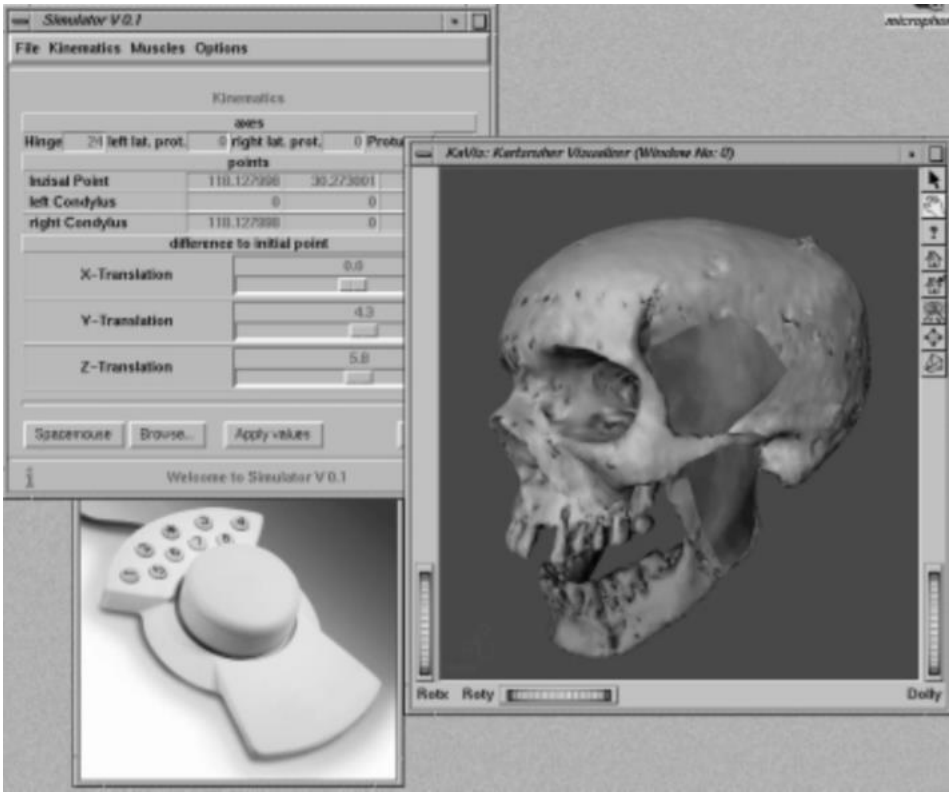


Figure 8: Système de simulation

2.7.2. Simulation boursière à l'aide de machines à vecteurs de support

L'objectif de cette recherche était d'analyser dans quel type de marché simulé (tendance haussière, tendance baissière, forte volatilité et une faible volatilité), la stratégie de trading SVM est utile. Ils ont étudiés la rentabilité de règles de trading techniques simples basées sur des modèles SVM.

Un algorithme SVM a été choisi afin de prendre une décision quantitative. Les principales entrées de cet algorithme sont RSI et MACD. Les sorties sont les mouvements à la hausse ou à la baisse attendus pour la variation hebdomadaire de l'indice, et son degré d'appartenance à l'ensemble (classe haussière ou baissière). Trois stratégies de trading sont comparées, détenant un maximum de cinq contrats en même temps afin d'analyser la pertinence de SVM sur les différents marchés simulés lors de la prise de décision quantitative, bien que le plus important soit de comparer les résultats de la stratégie SVM en les quatre marchés simulés.

Dans l'ensemble, cette étude montre que la stratégie SVM produit de meilleurs résultats que la stratégie N ou la stratégie BH sur les marchés baissiers, les marchés à forte volatilité et les

marchés à faible volatilité. Cependant, la stratégie BH permet d'obtenir des rendements plus élevés sur des marchés haussiers ; cette situation est logique car BH gagne toujours plus de points sur les marchés haussiers, ce n'est donc pas une bonne ne référence pour les mouvements haussiers. Si la stratégie SVM et la stratégie N sont comparées pour des marchés haussiers, la stratégie SVM bat la stratégie N, comme on peut le voir dans la section des résultats. Ces résultats sont en accord avec Fernández Rodriguez et al. (2000) lors de l'application de prédicteurs non linéaires à l'indice boursier espagnol.

Il est à noter que la stratégie SVM obtient de meilleurs résultats sur les marchés à forte volatilité que les autres types de marchés.Ces résultats sont en accord avec Rosillo et al. (2014), qui utilisent le VIX comme entrée du SVM pour prévoir le S&P500. La stratégie SVM permet une réduction du drawdown maximum et une réduction de l'écart type annualisé. En outre, le rapport Sharpe est amélioré à l'aide des SVM. De plus, la stratégie de trading SVM réduit le risque global de l'investissement.

La stratégie SVM analysée serait utile dans les marchés à forte volatilité. L'utilisation de cet algorithme générerait des profits lors de crises financières.

Cependant, certaines limites se retrouvent dans notre travail. Par exemple, l'algorithme n'est pas en mesure d'obtenir des résultats intéressants sur des marchés à faible volatilité. Cela pourrait être dû au fait que les modèles SVM fonctionnent mieux sur les marchés à forte volatilité, car le prix ne change pas de manière significative sur les marchés à faible volatilité.

Dans la suite des travaux, il serait judicieux d'utiliser un indicateur de tendance afin de déterminer quand le marché va être plongé dans un mouvement à haute volatilité. Aussi, il serait intéressant de combiner cet algorithme avec un système expert afin d'éviter des journées qui s'annoncent extrêmement volatiles, comme une crise politique ou des décisions de la FED.

Une autre possibilité de recherche serait d'utiliser le langage XBRL (eXtensible Business Reporting Langages). XBRL est une norme mondiale et disponible gratuitement pour l'échange d'informations commerciales. XBRL nous permet d'obtenir plus d'informations et pour calculer plus de ratios en analyse fondamentale pour les indices et les entreprises. Il serait intéressant de combiner différents indicateurs d'analyse fondamentale pour améliorer les résultats.

2.8. Avantages et limites de la simulation

2.8.1. Avantage

La simulation est d'un outil informatique qui attire l'attention de plusieurs acteurs, non seulement auprès des industriels, mais aussi auprès des chercheurs pour vérifier leur théorie. Parmi ses avantages, nous citons :

- Plus facile à comprendre.
- Mieux comprendre les anciens problèmes et possibilité détecté les autres problèmes.
- L'analyse par simulation est souvent moins couteuse que celle des systèmes réels puisque ce dernier n'est pas affecter par les différentes expérimentations entreprises en simulation.
- Représentation plus réaliste.
- Excellente méthode de comparaison, d'amélioration et d'appréciation des risques.
- Flexible.
- Elle permet de tester aisément des hypothèses sur le fonctionnement du système et de mieux le comprendre.
- Elle permet d'étudier les conditions d'opération extrêmes du système et d'en évaluer les conséquences sans mettre en danger le système ni son environnement.
- Un simulateur peut représenter un excellent outil d'entraînement utilisé sans la présence de spécialistes.

2.8.2. Limite

Beaucoup d'études ont montré que la simulation figurait parmi les techniques les plus utilisées à travers le monde. Cependant, plusieurs obstacles n'ont pas favorisé une plus large utilisation de la simulation :

- Mise au point toujours long ; la simulation est plus long et couteux à développer, valider et exécuter.
- Elle ne peut donner des résultats justes si les données sont imprécises.
- Elle ne peut décrire les caractéristiques d'un système qui n'a pas été complètement modélisé.

- Elle ne peut résoudre des problèmes mais seulement fournir des indications à partir desquelles des solutions peuvent être déduites.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné la méthode de simulation. La simulation est aujourd'hui largement reconnue comme une technique puissante pour l'analyse et la conception dans divers domaines, tel que l'analyse de système de service, les systèmes de productions les systèmes naturelles et les systèmes informatiques.

Parmi les différentes méthodes de simulation, la simulation à base d'agent semble la plus adéquate pour notre projet vu que nous ne possédons pas une modélisation claire du phénomène. Ainsi, dans le chapitre suivant nous allons présenter la simulation à base des systèmes multi-agents.

CHAPITRE 2 : LA SIMULATION A BASE DES SYSTEMES MULTI-AGENTS

Introduction

Historiquement, les systèmes multi-agents ont été mis en œuvre pour résoudre des problèmes de l'intelligence artificielle dans les années 70. À cette époque, le développement des applications d'IA visait la simulation des univers complexes et hétérogènes, la reconnaissance et l'interprétation de formes, et la gestion et contrôle des procédés industriels.

Ce chapitre est consacré à la présentation de notions fondamentales de la simulation à base de systèmes multi-agents. En premier lieu, nous définissons le concept de système, et agent. Dans un second lieu, nous décrierons la notion de simulation multi-agent, la méthodologie à suivre et les domaines d'application.

1. La notion d'agent

1.1. Définition

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

Jacques Ferber définit l'agent comme étant : "une entité autonome physique ou abstraite qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui dans un univers Multi-agents peut communiquer avec d'autres agents et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances, et des interactions avec les autres agents". (Ferber, 1995)

1.2. Environnement

Un agent ne peut exister sans environnement. L'environnement est une structure dans laquelle l'agent évolue. Un agent va agir sur son environnement et l'environnement va agir sur l'agent. (Olivier, 2003)

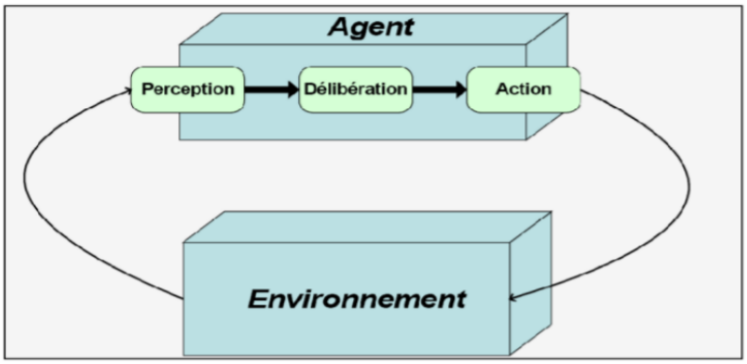


Figure 9: Architecture d'un environnement

L'interaction agent/environnement étant essentielle, nous commencerons ici par présenter les principales propriétés qu'il est proposé d'observer sont :

- Accessible/inaccessible : L'environnement auquel l'agent peut accéder est dit accessible sinon il lui est inaccessible.
- Déterministe/non déterministe (Stochastique) : dans un environnement déterministe, l'état de l'environnement à l'instant suivant est complètement déterminé par l'état courant et par les actions effectuées par les agents. Dans un environnement stochastique, l'état suivant est aléatoire.
- Episodique/non épisodique (séquentiel) : on parle d'environnement épisodique (ou de temps discrétisé) si l'expérience de l'agent peut être divisée en "épisodes". Chaque épisode consiste en une phase de perception puis en une phase d'action, le résultat de l'action ne dépendant que de la période courante.
- Statique/dynamique : si l'état de l'environnement ne peut pas être changé sans l'intervention de l'agent on dit qu'il est statique. L'environnement est dynamique si son état peut changer sans intervention d'agent.
- Discret /continu : si tout passage d'un état de l'environnement à un autre nécessite le passage par une séquence d'états intermédiaires, on dit que l'environnement est continu, sinon il est discret.(BADEIG, septembre 2010)

1.3. Caractéristique des agents

Les différentes caractéristiques de l'entité agent peuvent être résumées dans la définition suivante : « un agent est un système informatique situé dans un environnement, et qui agit de façon autonome et flexible pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu ».

- L'autonomie : l'agent est capable d'agir sans l'intervention d'un tiers (humain ou agent) et contrôle ses propres actions ainsi que son état interne.
- La situation : l'agent est capable d'agir sur son environnement à partir des entrées sensorielles qu'il reçoit de ce même environnement. Exemples : systèmes de contrôle de processus, systèmes embarqués.
- La flexibilité : L'agent est capable de réaliser des actions d'une façon autonome et réflexible afin d'atteindre les objectifs qui lui ont été fixé. La réflexibilité signifie dans ce cas :
    - La réactivité : l'agent est capable de percevoir les changements dans son environnements, et doit élaborer une réponse dans les temps requis (changer son état interne, exécuter une tâche particulière, etc.)
    - La proactivité : l'agent doit exhiber un comportement proactif, opportuniste et orienté objectifs, c'est-à-dire il n'agit pas uniquement en réponse à son environnement mais, il est également capable de prendre l'initiative au "bon" moment.
    - La sociabilité : l'agent doit être capable d'interagir avec les autres agents (logiciels et humains) quand la situation l'exige afin de compléter ses tâches ou aider ces agents à accomplir leurs tâches.

1.4. Classification des agents

Les agents sont généralement classés selon deux courants de penser : l'école cognitive et l'école réactive.

- Les agents réactifs :

Ce sont des agents qualifiés de non intelligents, ils répondent d'une façon opportune aux modifications de leurs environnements résultants des stimuli externes, les agents réactifs agissent

en fonction de ces dernières sans nécessiter de compréhension de leurs univers ni de leurs buts. (ACHICHI, octobre 2010)

- Les agents cognitifs :

L'agent dispose d'une capacité de raisonnement, il possède des informations et des savoir-faire nécessaires à la réalisation de sa tâche et à la gestion des interactions avec son environnement et les autres agents. L'agent possède un but à atteindre à l'aide des plans explicites. (LABED, 2006).

- Les agents hybrides :

Un agent hybride est une combinaison entre l'agent cognitif et l'agent réactif.

Tableau 3: Comparaison entre agent cognitif et agent réactif

Système d'agents cognitifs	**Système d'agents réactifs**
Représentation explicite de l'environnement	Pas de représentation explicite
Peut tenir compte de son passé	Pas de mémoire de son historique
Agent complexe	Fonctionnement stimulus/réaction
Petit nombre d'agent	Grand nombre d'agent

2. Les systèmes multi-agents

2.1. Définitions

2.1.1 Définition 01

Les systèmes Multi-agents (SMA) sont des systèmes distribués conçus et implantés idéalement comme un ensemble d'agents interagissant, le plus souvent, selon des modes de coopération, de concurrence et de coexistence (Chaib-draa, 2001)

Jacques Ferber définie les systèmes multi-agents comme des systèmes composés des éléments suivants :

- Un environnement E, c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
- Un ensemble d'objets O situé dans E. Ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents.
- Un ensemble A d'agents, qui représentent les entités actives du système.
- Un ensemble de relations R qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.

- Un ensemble d'opérations Op permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O.
- Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction de l'environnement envers les tentatives de modification.

2.1.2. Définition 02

Un système multi-agents (SMA) est un ensemble d'agents situés dans un environnement et interagissant selon une certaine organisation. Cet énoncé met en exergue, comme il a été le cas pour la définition d'un agent, un certain nombre de termes, en l'occurrence les Agents, l'Environnement, les Interactions, l'Organisation. L'organisation est très importante dans les systèmes multi-agents et on peut citer quelques propriétés : une organisation est constituée d'agents (individus) qui manifestent un comportement ; l'organisation dans son entier peut être partitionnée, et les différentes partitions peuvent éventuellement se chevaucher ; le comportement des agents est décrit par leurs fonctions ou rôles au sein de leurs organisation.

Ces rôles caractérisent les motifs (patterns) d'interaction qui les relient à d'autres rôles. Ils stipulent les obligations, interdictions et permissions qui s'appliquent aux agents qui jouent ces rôles ; l'aspect organisationnel d'un SMA se situe à deux niveaux : au niveau organisationnel (social), qui décrit ce qui persiste quand les agents entrent ou quittent l'organisation, et au niveau concret (ou agent) qui constitue une instanciation particulière de la structure organisationnelle. L'organisation peut donc constituer, à elle seule, le squelette du modèle développé. Il existe d'ailleurs des démarches de modélisation très répandues basées sur l'organisationnel.

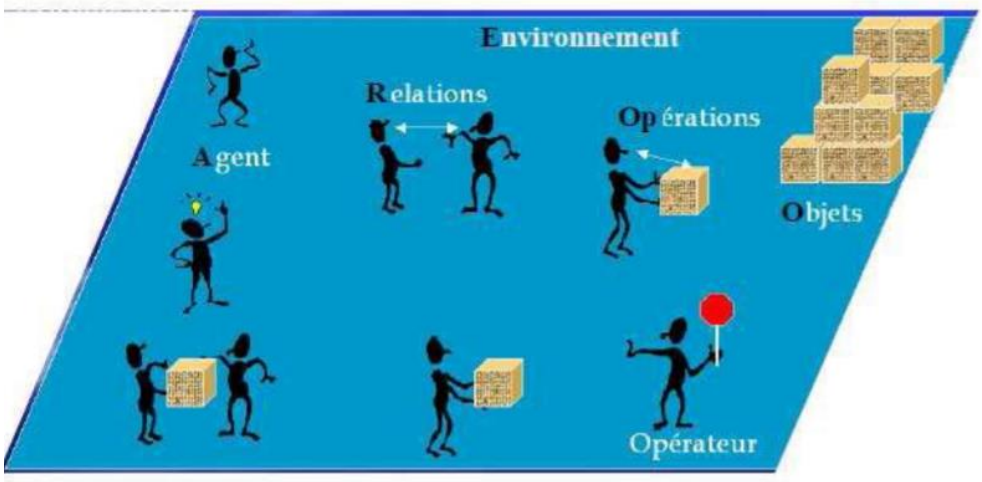


Figure 10: Architecture d'un SMA

2.2. Les caractéristiques d'un système multi-agent

Un système Multi-agents possède généralement les caractéristiques suivantes :

- Les agents agissent et travaillent indépendamment les uns des autres.
- Chaque agent est une partie du système.
- Chaque agent travaille dans le but d'accomplir ses tâches.
- Chaque agent est capable de communiquer et d'interagir avec d'autres agents.
- Un agent coopère avec les autres agents lorsque nécessaire.
- Un agent est capable de coordonner ses activités avec les autres agents pour accéder à des ressources et à des services partagés dont il a besoin (pour réaliser ses buts).
- Les agents ont un but commun.
- Chaque agent a une vue partielle du SMA. (BELLIFA, 3 juillet 2011)

2.3. Interaction dans un système multi-agent

Une interaction est une mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. Les interactions s'expriment ainsi à partir d'une série d'actions dans les conséquences exercent en retour une influence sur le comportement futur des agents . (Ferber, 1995)

2.3.1. Types d'interaction

Nous allons donner par la suite quelques définitions de la coopération, la coordination et la négociation, ces types d'interactions étant parfois difficiles à différencier :

- La coopération :

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 ".

- 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".

- La négociation :

La négociation définie comme le processus d'améliorer les accords (en réduisent les inconsistances et l'incertitude) sur des points communs. (SAHKI, 2008)

2.4. Le fonctionnement dans un système multi-agent

La communication représente la base de réalisation de tous les modes d'interaction qu'on a vue précédemment, soit la négociation ou bien la coordination.Une communication peut être définie comme une forme d'action locale d'un agent vers d'autres agents. Dans les SMA deux stratégies principales ont été utilisées pour supporter la communication entre agents :

- Communication par envoi de messages :

La communication directe correspond à l'envoi volontaire d'un message à un ou plusieurs agents. Il s'agit d'une conversation entre agents cognitifs, capables d'interpréter des actes de langage et de raisonner sur des messages ambigus. Un acte de langage est une action intentionnelle effectuée au cours d'une communication.

Les langages de communication entre agents, ou ACL (Agent Communication Languages), définissent en particulier des types de messages indiquant l'intention de l'agent émetteur (requête, ordre, information spontanée, proposition de service, affirmation, croyance, etc.). C'est le cas du

langage KQML (Knowledge Query and Manipulation Language), du langage de la FIPA (Foundation of Intelligent Physical Agents) (ACHICHI, octobre 2010)

- Communication par tableau noir :

Dans les systèmes fonctionnant par partage de ressources, les différents composants ne sont pas directement liés entre eux. Ils communiquent au travers d'une zone de données commune appelée tableau noir (Blackboard), dans laquelle sont stockées les connaissances du système. (ACHICHI, octobre 2010)

2.5. La plateforme d'un système multi-agent

Il est difficile de dresser une liste exhaustive des différentes plateformes existantes pour la simulation à base d'agents. En effet, les problèmes ciblés, les disciplines concernées, et les démarches de modélisation choisies ne font que contribuer à l'explosion du nombre et de la nature des plateformes de simulation ; raison pour laquelle nous ne citons pas les plateformes dédiées, au risque de devoir en privilégier quelques-unes qui ne représenteront pas forcément un état de l'art conséquent. Des plateformes génériques qui sont largement utilisées dans différentes disciplines et contextes sont ici présentées :

- MadKit (Multi-Agent Development Kit) :

Ecrite en Java, elle repose sur le modèle AGR et permet la prise en compte d'architectures hétérogènes d'agents, de protocoles de communication élaborées, d'extensions et d'outils de gestion et d'analyse de simulations à base d'agents. Elle bénéficie d'une forte communauté autour d'elle.

- Swarm :

Met à disposition une collection complète de librairies orientées objet permettant de développer des modèles en Objective C ou Java. Le modélisateur peut alors utiliser des instanciations de classes déjà existantes ou bien procéder à une spécialisation pour définir ses entités manipulées. Une particularité à relever ici est qu'un swarm, en plus d'être un agent, est aussi une collection d'agents avec une programmation d'événements qui lui est propre ; ceci permet alors la définition hiérarchisée d'agents.

- AgentSheets :

Un outil d'initiation permettant aux non programmeurs de développer et partager (exporter sous forme d'applets) des modèles plus ou moins sophistiqués en définissant de manière très simple des comportements et des objectifs pour chaque agent et en les combinant ensuite. Cette plateforme est plus utilisée pour créer des simulations et des jeux interactifs pédagogiques ainsi que des environnements virtuels.

- Starlogo :

Son langage se base sur le Logo et est traduit en Java avant d'être exécuté. Il définit les agents comme des tortues évoluant sur des patches sous le regard d'un observer pouvant tout contrôler. Cette plateforme est appropriée pour la simulation de phénomènes émergents impliquant un grand nombre d'agents simples (réactifs).

- NetLogo :

Est une extension de Starlogo plus populaire avec une multitude de librairies coopératives implémentées. Il présente, en plus d'être dans un cycle de développement régulier, plusieurs améliorations par rapport à Starlogo ; système de coordonnées « continues », simulation participative distribuée (hubnet), exportations de simulations sous formes d'applet. (DEMBELE)

2.6. Les cinq problématiques des SMA

On peut relever cinq problématiques principales lors de la création de systèmes multi-agents (SMA) :

- La problématique de l'action : comment un ensemble d'agents peut agir de manière simultanée dans un environnement partagé, et comment cet environnement interagit en retour avec les agents ? Les questions sous-jacentes sont entre-autres celles de la représentation de l'environnement par les agents, de la collaboration entre agents, de la planification multi-agents.
- La problématique de l'agent et de sa relation au monde, qui est représenté par le modèle cognitif dont dispose l'agent. L'individu d'une société multi-agent doit être capable de mettre en œuvre les actions qui répondent au mieux à ses objectifs. Cette capacité à la décision est liée à un "état mental" qui reflète les perceptions, les représentations, les croyances et un certain nombre de paramètres "psychiques"

(désirs, tendances...) de l'agent. La problématique de l'individu et de sa relation au monde couvre aussi la notion d'engagement de l'agent vis-à-vis d'un agent tiers.

- Les systèmes multi-agents passent aussi par l'étude de la nature des interactions, comme source de possibilités d'une part et de contraintes d'autre part. La problématique de l'interaction s'intéresse aux moyens de l'interaction (quel langage ? quel support ?), et à l'analyse et la conception des formes d'interactions entre agents. Les notions de collaboration et coopération (en prenant coopération comme collaboration + coordination d'actions + résolution de conflits) sont ici centrales.
- On peut évoquer ensuite la problématique de l'adaptation en termes d'adaptation individuelle ou apprentissage d'une part et d'adaptation collective ou évolution d'autre part.
- Il reste la question de la réalisation effective et de l'implémentation des SMA, en structurant notamment les langages de programmation en plusieurs types allant du langage de type L5, ou langage de formalisation et de spécification, au langage de type L1 qui est le langage d'implémentation effective. Entre les deux, on retrouve le langage de communication entre agents, de description des lois de l'environnement et de représentation des connaissances. (wiki, 2007)

2.7. Domaine d'application d'un système multi-agent

Les domaines d'application des systèmes multi-agents qui consiste à quatre grands domaines sont :

- **La résolution des problèmes :**

Telle qu'elle avait été définie en Intelligence Artificielle, étendue à un contexte distribué. Dans ce cadre, l'objectif est de mettre en œuvre un ensemble de techniques pour que des agents, pertinents pour la résolution d'une partie ou l'ensemble du problème, participent de manière efficace et cohérente à la résolution du problème global. (BOUSSEBOUGH, 2011)

- **Simulation multi-agent :**

Les simulations dont l'objectif est la modélisation de phénomènes du monde réel, afin d'observer, de comprendre et d'expliquer leurs comportement et leurs évolution. Les systèmes multi-agents ont trouvé rapidement un champ extrêmement propice à leurs développements dans

le domaine de la modélisation des systèmes complexes ne trouvant pas de formalisation mathématique adaptée. (Ferber, 1995)

- **La construction des mondes synthétiques :**

Dans la construction de monde synthétique ne permet pas la résolution de problème, n'utilise pas d'agent physique et ne simulent aucun monde réel mais est une large part dans les recherches portant sur les systèmes multi-agents parce qu'elle permet d'analyser certains mécanismes d'interaction de manière plus fine que ne pourrait le faire une véritable application. (Ferber, 1995)

- **La robotique distribuée :**

La robotique distribuée porte sur la réalisation non pas d'un seul robot, mais d'un ensemble de robots qui coopèrent pour réaliser un travail. La robotique distribuée utilise des agents concrets qui se déplacent dans un environnement réel. (Ferber, 1995)

3. Simulation multi-agent

3.1. Définition

La simulation Multi-Agents est bien adaptée aux systèmes complexes constitués de plusieurs entités, elle consiste à séparer ces entités qui seront représentées par des agents et définir leurs différents comportements et interactions, puis faire évoluer les agents en fonction du temps, et étudier et analyser la progression du système global suite aux actions produites par les agents et leurs interactions. (Treuil, 2008)

Un système de simulation Multi-Agents est un ensemble d'agents et de règles d'interaction entre eux. Chaque agent est capable d'évaluer individuellement sa situation et de prendre des décisions à partir d'un ensemble de règles. Il peut exécuter divers comportements relatifs au système représenté, Les agents peuvent ensuite être capables d'évoluer, permettant à des comportements non anticipés d'apparaitre. (Treuil, 2008)

Simulations de Systèmes Multi-Agents : Il a trois éléments : agents, interactions et environnement.

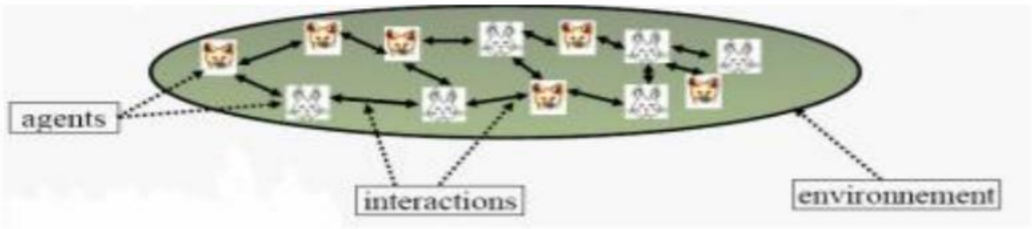


Figure 11: Les éléments dans la simulation multi-agent

3.2. Les méthodologies de la simulation multi-agent

La Méthodologie de simulation se base sur la définition d'une théorie de modélisation, La modélisation d'un phénomène dans un perspectif multi-agent se traduit par :

- Une décomposition du phénomène :

Le phénomène est décomposé en un ensemble d'éléments discrets autonomes dont les interactions reproduisent le phénomène. Cette phase est semblable au processus de réification intervenant dans les méthodes de conception orientées objet. Il est à noter que ce préliminaire nécessite une vision déjà distribuée du phénomène à modéliser (à moins que, comme nous le faisons remarquer plus loin, l'un des objets de la simulation soit justement de déterminer les éléments ou les niveaux pertinents à étudier).

- La modélisation de chacun de ces éléments par un agent :

Dans cette phase intervient un nécessaire choix quant à la théorie à employer pour définir les connaissances de l'agent, ses capacités fonctionnelles, ses comportements et les modes d'interaction qu'il adoptera à l'encontre des autres agents. On se reportera utilement à l'intelligence artificielle et aux modèles d'agents qui y sont présentés pour comprendre que ce choix peut être délicat. C'est au cours de cette étape que le modèle théorique de comportement individuel proposé par le domaine de recherche dans lequel s'effectue la modélisation est traduit en un modèle informatique.

- La définition de l'espace :

Dans lequel évoluent ces agents et des lois qui le gouvernent. On appellera cet espace l'environnement des agents. Sa définition permettant d'affiner la description des actions possibles

des agents, ainsi que celle de leurs moyens de communication, on définira souvent agents et environnement de manière concomitante.

- La définition des objets inertes *:*

Seront considérés comme objets inertes les agents du système qui ne sont dotés d'aucune capacité d'action ni de communication.(DROGOUL, 1993)

3.3. Caractéristique de la simulation multi-agent

Dans des approches de modélisation basées sur la définition d'équations mathématique, la dynamique du système est définie dans le début par des relations fonctionnelles entre entités. Au contraire, la simulation multi-agents se propose de modéliser explicitement les comportements des entités et considère que la dynamique globale d'un système résulte directement de l'interaction des comportements. En effet, l'approche multi-agents permet de modéliser chaque individu, son comportement et les interactions qui découlent de la mise en commun de ces individus. La dynamique globale du système est alors issue de l'ensemble de ces individus. (NGUYEN, 2007)

3.4. Le système multi-agent et la simulation de ville Open City : (Exemple)

Dans le cadre du jeu de simulation de ville Open City, ils ont eu l'idée d'utiliser un Système Multi-Agents afin de créer une intelligence artificielle entre les différents véhicules présents dans le jeu. Ce système est indépendant du jeu de simulation. L'intégration dans la simulation sera facilitée par l'utilisation des techniques de spécialisation dans le développement de logiciel orienté objet.

Le jeu de simulation Open City est un jeu de gestion de ville en 3 dimensions et en temps réel. C'est pourquoi la simulation est relativement gourmande en temps processeur. Une ville dans Open City est composée de plusieurs zones. Il y a trois types de zones possibles : résidentielle, commerciale, et industrielle. Et finalement, ces zones sont desservies par des routes. Les agents policiers et les agents voleurs évoluent sur des routes construites par les joueurs et ne peuvent pas sortir de ces routes.

Le SMA a les caractéristiques suivantes : ouvert, hétérogène et composé d'agents réactifs. L'ensemble du SMA sera géré par un seul thread. L'ordonnancement des agents consiste à exécuter le traitement propre à chaque agent dans une boucle et dans un l'ordre de création des agents

L'environnement a la connaissance des positions courantes des agents disposés sur la carte. Il est chargé de gérer les déplacements des agents et faire le lien avec les données du simulateur. Le calcul du plus court chemin est effectué via l'environnement qui est basé sur l'algorithme de Dijkstra amélioré avec une heuristique. Nous n'allons pas détailler cet algorithme car il ne fait pas partie du projet.

Une classe « Agent » générique a été implémenté. Chaque agent a un rôle précis qui conditionne son comportement. Un rôle est donc assimilé à un type d'agent. Dans notre cas, nous avons deux types (rôles) d'agent précis : policier et voleur. La perception d'un agent est limitée dans l'environnement. Lorsqu'un agent envoie un message, ce message n'est pris en compte que par des agents qui lui sont proches.

Par défaut, l'agent policier patrouille. Lorsqu'il rencontre un agent voleur, il demande du renfort afin d'interpeller cet agent voleur. Si l'agent voleur est arrêté et enlevé de l'environnement quand il est bloqué par au moins un agent policier et il n'arrive plus à se déplacement.

Par défaut, un agent voleur fuit d'un point à un autre le plus rapidement possible en évitant les agents policiers. Il n'y a pas de collaboration entre les agents voleurs.

Figure 12: Arrestation d'un agent voleur par les policiers

3.5. Avantages et limites des SMA

3.5.1. Avantage et objectif

Les SMA sont des systèmes idéaux pour représenter des problèmes qui possèdent de multiples méthodes de résolution, de multiples perspectives. L'approche SMA est justifiée par les propriétés :

- La modularité.
- La vitesse, avec le parallélisme.
- Fiabilité, due à la redondance.
- Traitement symbolique au niveau de connaissances.
- La réutilisation et la portabilité.
- L'intervention des schémas d'interaction sophistiqués (coopération, coordination, négociation).

Les deux objectifs majeurs de recherche dans le domaine des SMA sont :

- L'analyse théorique et expérimentale des mécanismes.
- La résolution des programmes distribués.

Pour résoudre deux genres de problèmes :

- Modéliser, expliquer et simuler des phénomènes naturels.
- La réalisation des systèmes informatiques complexes.

3.5.2. Limite

Malgré tous les avantages des SMA ils ont quelques inconvénients tels que :

- La sécurité des applications : les agents peuvent communiquer sans aucun contrôle.
- L'exécution des agents s'effectuant en parallèle, il est encore plus difficile de comprendre leur fonctionnement à partir de leur code, du fait du non déterminisme inhérent au parallélisme.
- Enfin, et surtout, les systèmes multi-agents sont des logiciels complexes, difficiles à appréhender et à concevoir. Il est donc nécessaire de réduire leurs complexité en

dégageant leurs structure et en analysant séparément leurs différents composants sans pour autant perdre de vue l'organisation générale.(KADDOUR, 2014-2015)

Conclusion

La combinaison de la décentralisation et de l'autonomie grâce aux systèmes Multi-agents ouvre la porte à une nouvelle approche de la résolution de problèmes de modélisation. La modélisant des phénomènes complexes, tire pleinement parti des avantages offerts par les systèmes multi-agents. Dans ce chapitre, nous avons présenté les notions essentielles et que l'étude de la simulation multi-agent confirme que c'est l'approche adéquate pour simuler Covid-19.

CHAPITRE 3 : LE COVID-19

Introduction

Pour pouvoir élaborer un système de simulation pour évaluer les différentes mesures de confinement, nous devons comprendre le mieux possible la maladie Covid-19 et son mode de propagation. Aussi, il est important de comprendre les différentes mesures élaborées pour faire face à la pandémie. Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents enjeux liés à cette pandémie, ainsi que les mesures adoptées.

1. Le coronavirus Covid-19

1.1. Le coronavirus

La maladie du Covid-19 est une maladie infectieuse due à un coronavirus découvert récemment. Les coronavirus forment une vaste famille de virus présents chez l'homme et chez l'animal. Ceux qui touchent l'être humain peuvent entraîner des manifestations diverses allant du simple rhume à des maladies plus graves comme le syndrome respiratoire du Moyen-Orient (MERS) et le syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS). Le coronavirus le plus récemment découvert est à l'origine de la maladie à coronavirus Covid-19. Le virus qui entraîne le Covid-19 se transmet principalement par des gouttelettes produites lorsqu'une personne infectée tousse, éternue, ou lors d'une expiration. Ces gouttelettes sont trop lourdes pour rester dans l'air et tombent rapidement sur le sol ou sur toute surface proche. Une personne peut être infectée en respirant le virus, si vous êtes à proximité d'une personne malade, ou en touchant une surface contaminée puis vos yeux, votre nez ou votre bouche.

La majorité des personnes atteintes du Covid-19 ne ressentiront que des symptômes bénins ou modérés et guériront sans traitement particulier. Les symptômes les plus courants du Covid-19 sont la fièvre, la fatigue et une toux sèche. Certains patients présentent des douleurs, une congestion nasale, un écoulement nasal, des maux de gorge ou une diarrhée. Ces symptômes sont généralement bénins et apparaissent de manière progressive. Certaines personnes, bien qu'infectées, ne présentent aucun symptôme et se sentent bien. La plupart (environ 80 %) des personnes guérissent sans avoir besoin de traitement particulier. Environ une personne sur six contractants la maladie présente des symptômes plus graves, notamment une dyspnée. Les

personnes âgées et celles qui ont d'autres problèmes de santé (hypertension artérielle, problèmes cardiaques ou diabète) ont plus de risques de présenter des symptômes graves. Toute personne qui a de la fièvre, qui tousse et qui a des problèmes respiratoires doit consulter un médecin.

1.2. Le coronavirus dans le monde

Ce nouveau coronavirus et cette nouvelle maladie n'avaient encore jamais été décelés avant qu'une flambée épidémique ne soit signalée à Wuhan, en Chine, en décembre 2019. En effet, la pandémie aurait émergé sur un marché de Wuhan mi-novembre 2019. Elle se répand en Chine puis dans les pays voisins. Plusieurs navires de croisière sont touchés par la maladie, et sa propagation rapide à bord permet aux épidémiologistes de mesurer peu à peu sa vitesse et sa capacité à se propager, tandis que des lieux de rassemblement plus large en plusieurs points du globe se révèlent particulièrement propagateurs et disséminateurs, les autorités prévenant ou réagissant plus ou moins à temps. En Europe, les pays comme l'Italie, la Belgique, l'Espagne, le Royaume-Uni et la France qui seront les plus durement touchés. Viendront ensuite Le brésil et les États unis qui enregistreront les taux de morts de cette maladie les plus élevés.

1.2.1. La crise sanitaire et ses conséquences à travers le monde

La pandémie du Covid-19 en 2020 a entraîné d'importantes conséquences sanitaires, mais aussi économiques, financières, sociales, culturelles, environnementales et politiques. En effet, l'impact sur l'économie se fait ressentir à travers de nombreuses entreprises qui se retrouvent à l'arrêt total ou partiel, faisant craindre des phénomènes de pénurie sur les biens essentiels, en même temps que des mesures de confinement sanitaires sont prises, concernant la moitié de l'humanité. Les marchés financiers commencent à chuter le 24 février 2020, en raison d'une augmentation significative du nombre de cas du Covid-19 en dehors de la Chine continentale. Partout dans le monde et dans beaucoup de pays, de très nombreux événements citoyens, d'entreprises et grand public (sportifs, musicaux, salons, élections, ...) sont annulés ou reportés. Le confinement a eu des effets psychiques, sur la consommation, sur les modes de sociabilité, mais aussi un effet positif sur l'environnement avec notamment réapparition de la faune en ville, baisse des émissions de CO2. Le 15 avril 2020, le Fonds monétaire international renomme la crise « Grand Confinement » (Great Lockdown), en référence à la Grande Dépression et à la Grande Récession. L'ampleur de la crise amène un grand nombre d'acteurs politiques, économiques, intellectuels à imaginer des modalités pour réinventer la société après le confinement. (Lakhdar, 2019/2020)

1.3. Mécanisme de contagion du virus

Mode de transmission

Le mode de transmission du Covid-19 semble être similaire à celui du SARS-CoV-2. En 2002, l'émergence du SARS-CoV-2 a résulté d'une transmission inter-espèces de l'animal à l'homme et s'est propagée par transmission interhumaine. Le Covid-19 a maintenant suivi le même schéma avec des événements de super propagation qui ont abouti à une pandémie.

Avec la progression de l'épidémie, le principal mode de transmission d'humain à humain a été identifié comme étant par les gouttelettes de sécrétion de mucus respiratoire et le contact direct. La transmission par gouttelettes se produit lorsqu'une personne parle, éternue ou tousse, le virus est libéré par les sécrétions respiratoires. En entrant en contact direct avec la muqueuse d'un patient infecté, les gouttelettes tendent à transmettre le virus. Les gouttelettes ne se déplacent pas de plus de deux mètres et ne restent pas dans l'air.

Cela soulève des incertitudes quant au mécanisme de transmission, car il existe peut-être d'autres moyens de s'infecter, par exemple en touchant des surfaces ou des objets sur lesquels se trouve le virus, puis en touchant la bouche, le nez ou les yeux. Une étude a signalé la présence du SRAS-CoV-2 dans des écouvillons fécaux et sanguins, ce qui indique la possibilité de voies de transmission multiples. En l'absence d'un vaccin efficace, la seule façon de contrôler et d'arrêter cette épidémie est d'utiliser l'isolement, le lavage fréquent des mains et l'éloignement social comme mesure préventive efficace. (Khaled Habas, 04/08/2020)

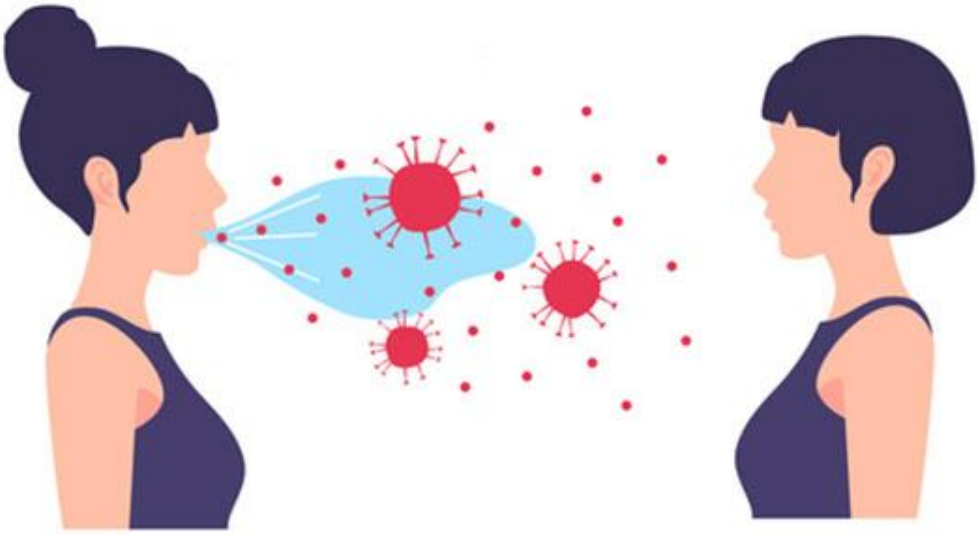


Figure 13: Transmission aérienne du Covid-19

Figure 14: Les gouttelettes sont des modes de transmission clés du virus Covid-19

1.4. Covid-19 en Algérie

1.4.1. L'origine et les premiers cas

Avant l'apparition du Covid-19 dans le pays, l'Algérie était considérée comme l'un des trois pays africains présentant le plus grand risque d'importation du Covid-19 en provenance de Chine avec l'Egypte et l'Afrique du Sud. En outre, elle faisait partie des 13 pays prioritaires identifiés par l'OMS sur la base de leurs liens directs et du volume des voyages vers la Chine. Cependant, comme dans le pays frontalier du Maroc, les premiers cas sont tous venus d'Europe (surtout de France, d'Italie et d'Espagne).

A l'exception du cas d'un citoyen italien déclaré Covid-19 positif le 25 février 2020 dans le département d'Ouargla, le véritable début de l'épidémie est rapporté le 1er mars de deux ressortissants nationaux venus de France dans le département de Blida qui est devenu l'épicentre de l'épidémie.

Depuis le 1 mai 2020, les 58 départements algériens ont été touchés avec un nombre de 199275 cas positifs.

Géographiquement, c'est dans le nord de l'Algérie que le nombre de cas est le plus élevé, notamment dans le département de Blida et ses départements frontaliers comme Alger, Tipaza et Médéa. En ce qui concerne leur origine, hormis quelques cas de contaminations secondaires, notamment dans le département de Blida, la quasi-totalité des cas dans tous les départements sont considérés comme une contamination d'origine européenne.

1.4.2. Morbidité

Depuis le premier cas signalé le 25 février, l'Algérie a enregistré un nombre de 4997 cas positifs au Covid-19 le 6 mai. Elle est le quatrième pays le plus touché en Afrique après l'Egypte (7588), l'Afrique du Sud (7572) et le Maroc (5382) et le 55ème pays le plus touché dans le monde.

En ce qui concerne l'âge et le sexe des patients positifs, les données montrent que les catégories les plus touchées sont celles âgées entre 25 et 49 ans (38,5%) et les personnes âgées de plus de 60 ans (34,8%) et les hommes (56,5%) semblent être plus touchés que les femmes (43,5%). Il faut noter que ces chiffres représentent la morbidité d'environ 110 cas/million d'habitants, ce qui est supérieur à la mortalité enregistrée en Egypte (70 cas/million d'habitants) mais inférieure à celles rapportées au Maroc (146 cas/million) et en Afrique du Sud (128 cas/million).

Toutefois, ces chiffres sont à prendre avec précaution car ils ne reflètent pas la situation réelle en raison du nombre limité de tests réalisés. En outre, un nombre de 4091 cas positifs (au 30

avril) ont été diagnostiqués en utilisant la radiologie et le scanner, ce qui porte le nombre total à environ 8298 cas positifs.

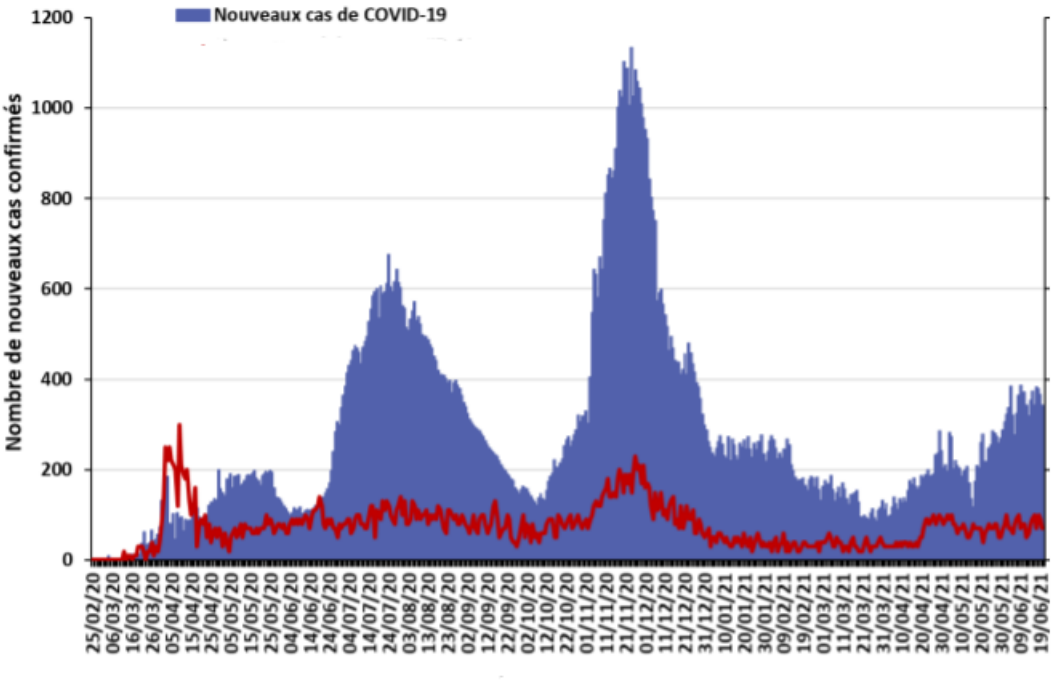


Figure 15: Cas quotidiens confirmés de Covid-19 en Algérie (en bleu)

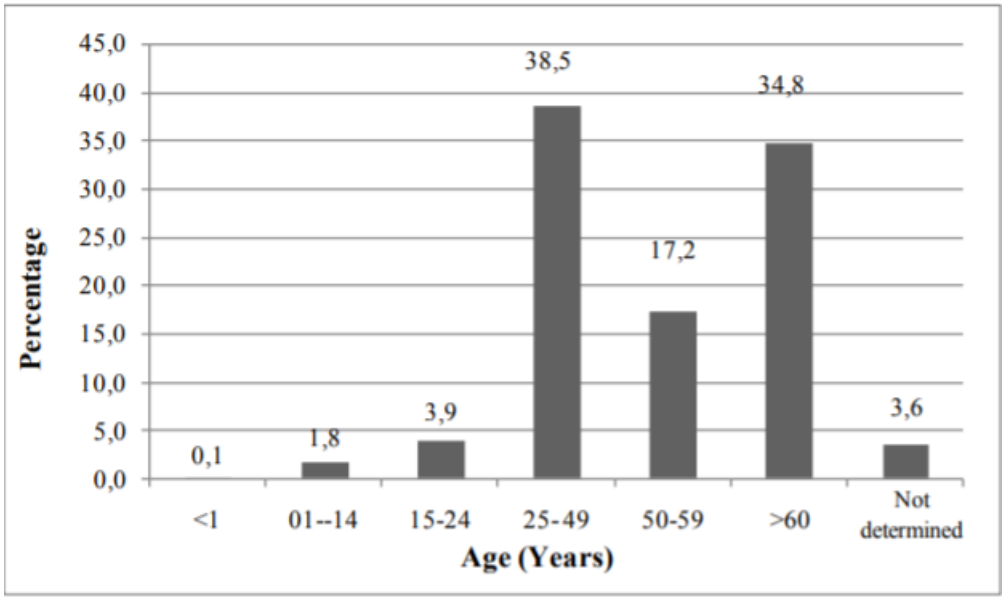


Figure 16: Distribution des patients positifs au Covid-19 en fonction de leur âge

1.4.3. Taux de mortalité

Le nombre total des décès liés au Covid-19 en Algérie est de 5519.Ce nombre reste moins élevé que ceux rapportés dans les autres pays africains tels que l'Afrique du Sud (84327), le Maroc (13370). A noter que 65% du total des personnes décédées étaient âgés de plus de 65 ans.

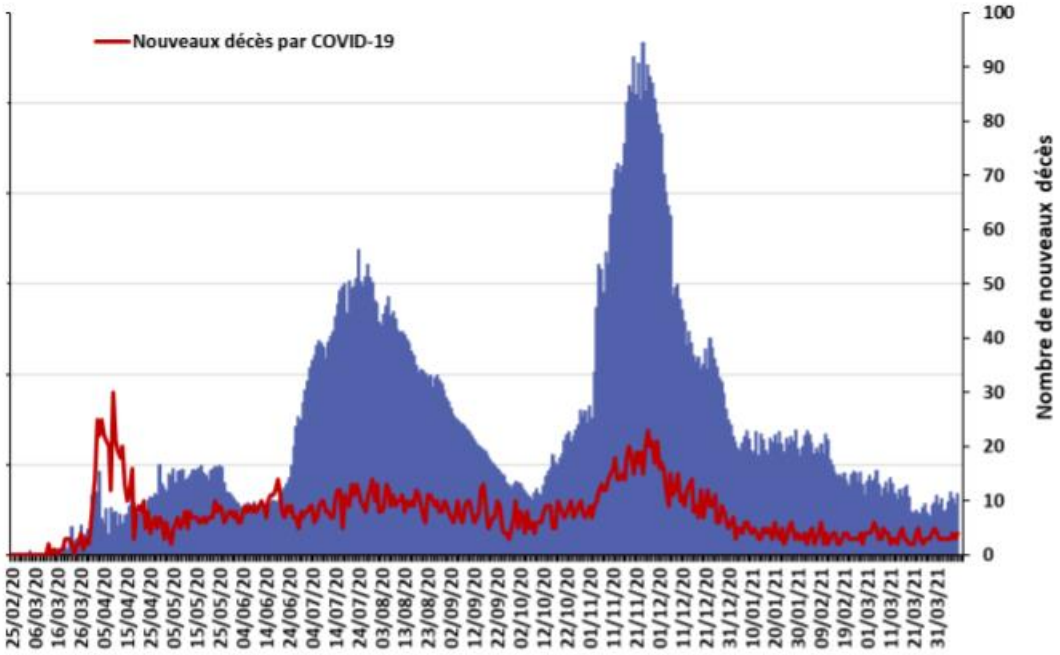


Figure 17: Nombre des décès du Covid-19 en Algérie (en rouge)

1.5. Les caractéristiques des patients du Covid-19

Il n’existe pas de symptômes spécifiques permettant de distinguer de manière fiable le Covid-19.

Les symptômes de cette maladie se chevauchent avec ceux d’autres maladies comme la grippe et le rhume ; les symptômes les plus courants du Covid-19 sont la fièvre, la toux sèche et la fatigue. Alors que, les maux de gorge, les maux de tête, la diarrhée, le nez bouché ou qui coule, la perte de goût ou d’odorat, les douleurs musculaires, les douleurs oculaires et la nausée sont considérés comme les symptômes les moins courants. D’autre part, les symptômes graves sont les douleurs à la poitrine et les difficultés respiratoires. La période d’incubation du SARS-CoV-2 pour laquelle les symptômes apparaissent peut prendre jusqu’à 14 jours après l’exposition.

Le Covid-19 peut toucher tout le monde. Le risque de développer des symptômes dangereux du Covid-19 peut être accru chez les personnes âgées et chez les personnes de tout âge

qui ont des maladies respiratoires, cardiovasculaires, diabète, obésité, cancers, insuffisance rénale. (BENCHIKH AYMEN, 2019/2020)

La majorité des patients Covid-19 (91,7%) présentaient des symptômes précoces, tandis que 7,89 % des patients étaient asymptomatiques. Les patients plus jeunes présentaient moins de symptômes, principalement les symptômes des voies respiratoires supérieures, et l'état de la maladie était plus léger, ce qui était plus fréquent dans les cas importés. Les patients âgés de sexe masculin présentaient des symptômes graves lors de leur admission. (YuyiZhangMD, 09/2020)

Les symptômes du Covid-19 sont plus graves chez les hommes et les patients âgés, alors qu'ils sont légers chez les jeunes patients.

Pour les infections asymptomatiques ils sont fréquents chez les jeunes patients et la fréquence est faible.

1.6. Les mesures de confinement en Algérie, le confinement du mars 2020

L'épidémie du Covid-19 est arrivé en Algérie deux mois après le foyer initial de Wuhan, et un mois après le premier cas en Europe, le 24 janvier 2020 ce qui a donné aux parties prenantes un délai supplémentaire pour se préparer, de sorte que le système de surveillance, d'alerte, de sensibilisation sanitaire et de communication a été activé depuis janvier 2020, c'est-à-dire dès que l'OMS a annoncé la propagation du SRAS-CoV-2, par la suite, des mesures préventives ont été prises successivement conformément aux recommandations internationale avec pour objectif principal de réduire le taux de contact effectif et par conséquent, de diminuer le risque de contamination.

Les actions préventives étaient principalement : la distanciation sociale, la restriction des mouvements, la quarantaine et le confinement ; ils sont résumés dans le tableau ci-dessous. (HAMIDOUCHE, 21/04/2020)

Tableau 4: Les mesures de confinements en Algérie

Date	**Mesure**
3/9/12/15 Février 2020	Restriction des vols avec la Chine, l'Italie, le Maroc et la France.
10 Mars 2020	Annulation des réunions et foires sportives, culturelles et politiques.
12 Mars 2020	Fermeture de toutes les universités et les établissements d'enseignement.
17 Mars 2020	Fermeture des mosquées, Suspension de toutes les frontières terrestres et les routes aériennes.
18 Mars 2020	Impose d'une quarantaine de 14 jours dans des centres de confinement aux ressortissants algériens rapatriés.
22 Mars 2020	Suspension de tous les moyens de transport public, y compris le trafic ferroviaire.
23 Mars 2020	Placement de Blida sous confinement total et interdiction de se déplacer vers et à partir de cette région, Mise en place d'un confinement partiel et la fermeture des commerces inutiles dans la capitale Alger et d'autres Wilaya avec l'interdiction de tout rassemblement de plus de deux personnes.
4 Avril 2020	Etends du confinement partiel à l'ensemble du territoire national
Octobre 2020 (Les Universités)	L'inscription progressive des étudiants se fait par vagues à des dates précises afin d'éviter les frictions et la surpopulation, de pouvoir mettre en œuvre le protocole sanitaire et de protéger l'étudiant universitaire des dangers du Corona.

Conclusion

La pandémie du Covid-19 était et est toujours un désastre pour tout le monde, malgré les précautions et les compagnes de vaccination, cette dernière continue à se propager et se développer.

Ce chapitre nous a permis de mieux comprendre les différents aspects liés à la maladie. Nous avons pu découvrir aussi les différents enjeux liés à cette pandémie, les mesures adoptées et la priorité des décideurs. Ces connaissances viennent s'ajouter aux connaissances acquises dans les deux premiers chapitres sur la notion de simulation et plus particulièrement la simulation à base de systèmes multi-agents. A ce stade, nous pouvons entamer la problématique définie dans le cadre de notre projet.

CHAPITRE 4 : PROBLEMATIQUE, DEMARCHE ET ANALYSE

Introduction

Ce chapitre est la première étape de la réalisation de notre projet. Il est nécessaire de faire des choix sur la méthode à suivre et le langage ou le paradigme à utiliser. Ensuite, nous expliquerons le problème en détail en essayant de le décomposer en utilisant les concepts théoriques obtenus dans l'état d'art afin de pouvoir proposer une solution.

1. Processus en cascade

Le processus en cascade fait partie des premiers processus proposés en Génie Logiciel. Il se compose d'un ensemble d'étapes linéaires, d'où l'appellation « cascade ». Généralement ces étapes sont :

- Exigences et Analyse : durant cette phase, la planification, l'analyse et la spécification des besoins sont effectuées.
- Conception : durant cette phase, la conception et la spécification du système sont préparée. En se basant sur les résultats obtenus dans la première phase, la solution informatique est conçue et présenté en utilisant des modèles conceptuels. Ces modèles doivent présenter les aspects important du système.
- Implémentation : durant cette phase, on procède à a réalisation concrète de la solution conçue. Cela inclut la programmation et tests unitaires des différents modules et composants.
- Test : il s'agit des tests d'intégration du système, et les tests en environnement de production par les utilisateurs finaux.
- Exploitation : cette étape consiste en la livraison, la maintenance, et l'amélioration du système selon les changements organisationnels.

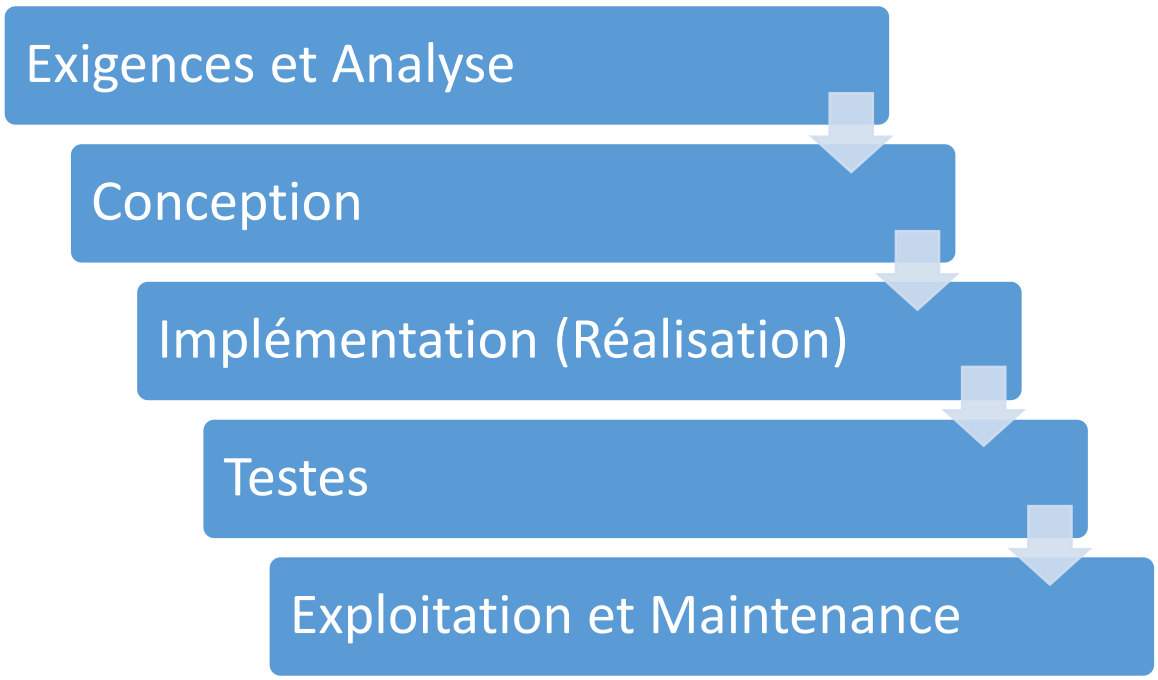


Figure 18: Processus en cascade.

Ce processus présente plusieurs inconvénients, notamment :

- Ce processus est rigide et définit qu'une seule itération : ainsi, ce processus ne supporte pas les changements des exigences et des besoins des utilisateurs,
- Ce processus ne prend pas en compte la dimension technologique d'une manière explicite : si le concepteur peut inclure la dimension technologique durant la phase d'analyse, le processus lui-même ne présente aucun support explicit pour inclure la dimension technologique. Cela limite l'applicabilité de ce processus lorsqu'on dispose d'un ensemble de contraintes technologiques dans l'entreprise.

Heureusement, l'influence de ces inconvénients est très limitée pour les raisons suivantes :

- Notre problématique est bien précisée : aucun changement majeur des besoins n'est prévu dans le cadre de notre projet,
- Aucune contrainte technologique et technique n'est imposée : après l'étude théorique, il est devenu évident qu'une l'utilisation d'un environnement de simulation multi agent semble le choix le plus adéquat, mais, aucune autre restriction n'est imposée.

Dans le cadre de notre projet, les étapes du processus seront appliquées comme suit :

- Exigences et analyses : vu la nature « recherche » de notre projet, l'analyse va se baser sur la problématique visée et non pas un ensemble d'exigences par l'utilisateur final. Ainsi, la définition des besoins va consister à une analyse qui combine la problématique posée et l'ensemble des connaissances acquises durant l'étude théorique.
- Conception : pour présenter la solution proposée, nous allons utiliser le langage UML. Le Langage de Modélisation Unifié, de l'anglais Unified Modeling Language (UML), est un langage de modélisation graphique à base de pictogrammes conçu comme une méthode normalisée de visualisation. UML nous offre la possibilité d'exprimer les aspects fonctionnel, statique et dynamique de notre système.
- La réalisation : suite à notre étude théorique, nous avons pris le choix d'utiliser Net Logo comme environnement de simulation. Net Logo sera présenté en détail dans le chapitre « Réalisation ».

2. Problématique

L'objectif de notre projet est d'offrir un outil pour évaluer les différentes mesures de confinements adoptées par l'état algérien pour faire face à la pandémie CoVid-19. Le projet trouve son importance dans la gravité de la pandémie et ses impacts néfastes sur plusieurs aspects de la vie humaine, notamment :

- Les mesures du confinement étaient prises à la base des propositions de l'OMS : il est important de posséder des outils pour évaluer l'efficacité de ces mesures selon les différents paramètres. Cette évaluation peut aider les décideurs à imposer, prolonger ou enlever la mesure étudiée.
- Les mesures du confinement ne sont pas gratuites : La plus part des mesures touchent directement la vie économique sur plusieurs niveaux. Les entreprises font face à des pertes substantielles qui menacent leur fonctionnement, notamment les petites entreprises et une grande partie de travailleurs risque d'être exposée à des pertes de revenus et à perdre leur travail.

Selon une étude mondiale du BIT, les secteurs les plus fortement touchés par la fermeture quasi totale ou la forte baisse de la demande pendant plusieurs mois sont les commerces de détail et les commerces en gros. (Algérie, 06/2020)

Concernant l'import / export : Le commerce extérieur algérien a enregistré au cours du premier trimestre de l'année 2020 un recul de 19,52% et une baisse des exportations à l'ordre de 24,89 % par rapport au premier trimestre de l'année 2019.

En Effet, les importations des biens originaires de la Chine ont connu un repli de l'ordre de 32,33 % au titre du premier trimestre de l'année 2020 vu que la Chine est l'épicentre de la pandémie.

Ajoutant que le canal commercial France, Italie et Espagne fortement touchés par la pandémie influencera forcement les échanges commerciaux avec l'Algérie, ce qui constaté par le recul des importations à l'ordre de 10,62%, 11.04%, 28,38%, 36.11% respectivement avec la France, l'Italie, l'Espagne et l'Allemagne.

Afin de limiter l'effet du confinement sur l'approvisionnement en denrées alimentaires, les autorités publiques en Algérie ont autorisé les industriels, les commerçants et les distributeurs, exerçant dans le secteur des produits alimentaires et des produits de première nécessité, de continuer leurs activités pendant la période de confinement. Par conséquent, les petits commerçants/artisans qui exercent dans les domaines hors produits de première nécessité, le secteur de transport de voyageurs et la main d'œuvre qui exerce dans le secteur informel étaient les plus touchés. A cet effet, l'Etat en Algérie a alloué une enveloppe de 70 milliards de dinars pour la prise en charge des répercussions socio-économique de la pandémie de Covid-19. (KACI, 18/07/2020)

Ainsi, mesurer l'efficacité de telles mesures peut être un élément clé pour les décideurs pour évaluer le risque économique à lequel les décideurs doivent faire face.

- Les mesures du confinement imposent une pression psychologique sur les citoyens : entre peur, panique et limites des rassemblements et rencontres, la pandémie a influencé la vie sociale et quotidienne des citoyens même au plus petit détail. Pouvoir alléger les mesures peut aider les citoyens à passer cette phase difficile que vit la planète, néanmoins, les décideurs doivent pouvoir mesurer le risque de toute réduction des mesures du confinement.
- Les mesures influences l'activité de plusieurs secteurs d'une manière directe : les secteurs d'éducation et d'éducation supérieure ont vu leur activité change dramatiquement en

appliquant les mesures recommandées par l'OMS. L'impact n'est pas encore connu sur l'apprentissage, mais, la pression sur le corps d'enseignement et le corps administratif des deux secteurs était visible. Des fois, il était même impossible de garder le même niveau de prudence et du respect des différentes mesures dans les établissements d'enseignement. Pouvoir évaluer les différentes mesures peut aider à les limiter au maximum pour reprendre une activité normale (ou presque) pour ces secteurs.

- Justification pour l'opinion publique : vu la grandeur des mesures du confinement, des millions de personnes (pour ne pas dire toute la population) ont été affectés avec des degrés différents. Plusieurs citoyens ont exprimé leur mécontentement concernant les mesures. D'autres citoyens prenaient des positions plus extrêmes en mettant l'existence de la pandémie en doute pour fermer la porte face aux mesures du confinement. L'utilisation d'un outil d'évaluation peut constituer un moyen pour convaincre le publique douteux sur l'efficacité de ces mesures d'une manière claire, simple et scientifique.

  Néanmoins, évaluer les mesures du confinement n'est pas une tâche simple. Ainsi, nous avons conduit une étude théorique sur la maladie CoVid-19 comme présenté dans le chapitre 03. L'étude effectuée nous a permis de déduire, d'un côté, qu'actuellement aucun modèle mathématique (exacte ou approximatif) n'est proposé pour modéliser la propagation de la maladie et l'effet des différentes mesures prises. Ainsi, il n'est pas possible actuellement de proposer un outil basé sur un modèle mathématique qui simule la propagation elle-même.

  De l'autre côté, l'étude effectuée nous a permis de voir :

- Le mécanisme de propagation du virus : bien que les spécialistes du domaine viral n'aient pas une compréhension complète sur la propagation, mais, ils ont une vision sur la nature de la propagation et les différentes catégories des malades, on distingue :

  - **Malade asymptomatique** : Près de la moitié des personnes positives au Covid-19 n'ont pas de symptômes. Elles sont asymptomatiques et développeraient des anticorps qui combattraient l'infection. Néanmoins, elles sont contagieuses. L'infection par le covid-19 peut être asymptomatique. La personne n'a pas de symptômes mais peut quand même transmettre le virus et contaminer d'autres personnes.(HORDE, 2021)

- **Malade avec symptôme :** Le Covid-19 présente des caractéristiques cliniques variées sur les plans du type, de la fréquence et de la gravité, mais aussi sur le plan des groupes d'âge. Les rapports publiés ont souvent tendance à surreprésenter les personnes présentant des symptômes graves, qui peuvent également varier selon les établissements de soins et d'un groupe d'âge à l'autre. Des symptômes absents au départ peuvent se manifester plus tard avec la progression de la maladie. Jusqu'à présent, il n'existe aucune liste exhaustive de symptômes validée quant à leur lien précis avec le Covid-19 ou la sensibilité de dépistage qu'ils permettent. Il est possible que l'apparition de variantes entraîne des changements dans les profils de symptômes des personnes. Les patients doivent toujours être encouragés à consulter un médecin en cas d'apparition ou d'aggravation de symptômes (gouvernement, 2021)

Le tableau ci-dessous présente les symptômes courants, moins fréquents et rares chez les personnes atteintes du Covid-19.

Tableau 5: Les différents symptomes chez les personnes atteintes du Covid-19

Symptômes courants (> 50 %)	Moins fréquents (≤ 50 %)	Symptômes rares (<10 %)
• Fièvre • Frissons • Apparition ou aggravation d'une toux • Fatigue et myalgie • Maux de tête • Symptômes gastro-intestinaux (nausées, vomissements, diarrhée)	• Essoufflement ou difficulté à respirer • Mal de gorge • Déglutition douloureuse et/ou difficile • Conjonctivite • Exacerbation nouvelle d'inhabituelle d'états pathologiques chroniques • État confusionnel aigu • Diminution ou perte de l'appétit • nouvelle perte de l'odorat et/ou du goût	• Manifestations cutanées • Confusion mentale • Congestion ou écoulement nasal • Manifestations oculaires

- **La propagation par contacte et l'utilisation des bavettes** : Les gouttelettes respiratoires que l'on expulse en parlant, en chantant, en toussant ou en éternuant constituent l'un des principaux modes de propagation de la COVID-19. Les recherches se poursuivent, mais nous savons que des personnes qui ne présentent aucun symptôme peuvent propager le virus, ce qui signifie que l'on peut être contagieux sans même le savoir. C'est l'une des raisons pour lesquelles il est obligatoire le port des bavettes. Il existe peut-être d'autres moyens de s'infecter,

par exemple en touchant des surfaces ou des objets sur lesquels se trouve le virus, puis en touchant la bouche, le nez ou les yeux.

- Les mesures du confinement avec leurs détails. A titre d'exemple, le principe des vagues utilisé dans l'enseignement supérieurs; Le ministre de l'Enseignement supérieur et de la recherche scientifique a affirmé la prise d'une série de mesures pour la réussite de l'année universitaire dont l'adoption du mode d'enseignement à distance, parallèlement à l'enseignement en présentiel, en application un protocole sanitaire de prévention contre le nouveau coronavirus. le secteur s'est mobilisé pour la réussite de la rentrée universitaire 2020-2021, en ce temps de pandémie (Covid-19), à travers la prise d'une série de mesures, dont l'adoption du mode d'enseignement à distance, citant la mise en place de plates-formes numériques dédiées aux cours et communications, élaborés par des enseignants à travers plusieurs établissements universitaires. Il a précisé, dans ce sens, que les plates-formes des différents établissements universitaires sont à 90% finalisées par le ministère, dont les services veillent à «pallier les difficultés enregistrées dans l'application de ce mode d'enseignement, notamment le principe d'interactivité entre l'étudiant et l'enseignant. D'une autre part il a assuré l'application d'un protocole sanitaire «des vagues» pour le mode d'enseignement en présentiel, et l'adoption du système de groupes qui concernera le tiers des étudiants et uniquement pour les modules essentielles. L'enseignement en mode présentiel sera assuré pour une moyenne de 12 semaines par semestre et le reste des cours seront dispensés en ligne (ex : à l'université de Jijel réserver 3 semaines d'enseignement pour les L1 et M2, 3 semaines pour les L3 et M1 du Tassousst et enfin 3 semaines pour les L2 et M1 Jijel)

En prenant en compte ces résultats, nous avons conclu qu'il est possible de :

- Simuler l'activité des citoyens,
- Inclure le mécanisme de propagation (sans avoir le modèle mathématique) pour la simuler.
    - En suivant ces conclusions, un choix conceptuel se montre le plus adéquat qu'est la simulation à base des SMA

3. La simulation à base des SMA

Avant de présenter notre modélisation du système, il convient de poser le cadre plus général de la simulation à base des SMA dans lequel cette modélisation s'insère.

Comme nous avons vu dans le deuxième chapitre, la simulation Multi-Agents est bien adaptée aux systèmes complexes constitués de plusieurs entités, elle consiste à séparer ces entités qui seront représentées par des agents et définir leurs différents comportements et interactions, puis faire évoluer les agents en fonction du temps, et étudier et analyser la progression du système global suite aux actions produites par les agents et leurs interactions. Un système de simulation Multi-Agents est un ensemble d'agents et de règles d'interaction entre eux. Chaque agent est capable d'évaluer individuellement sa situation et de prendre des décisions à partir d'un ensemble de règles. Il peut exécuter divers comportements relatifs au système représenté, Les agents peuvent ensuite être capables d'évoluer, permettant à des comportements non anticipés d'apparaitre. Il a trois éléments : agents, interactions et environnement.(TREUIL, 2008)

Rappelons-nous des quatre phases de simulation multi-agents :

- **La décomposition du phénomène :**

  Le phénomène est décomposé en un ensemble d'éléments discrets autonomes dont les interactions reproduisent le phénomène. Cette phase est semblable au processus de réification intervenant dans les méthodes de conception orientées objet.

- **La modélisation de chacun de ces éléments par un agent :**

  Dans cette phase intervient un nécessaire choix quant à la théorie à employer pour définir les connaissances de l'agent, ses capacités fonctionnelles, ses comportements et les modes d'interaction qu'il adoptera à l'encontre des autres agents.

- **La définition de l'espace :**

  Dans lequel évoluent ces agents et des lois qui le gouvernent. On appellera cet espace l'environnement des agents.

- **La définition des objets inertes. :**

  Seront considérés comme objets inertes les agents du système qui ne sont dotés d'aucune capacité d'action ni de communication.

4. Analyse de la problématique

Vu le choix conceptuel et les caractéristiques de la modélisation d'une simulation à base des SMA, cette partie va suivre le processus présenté ci-dessus :

4.1. Une décomposition du phénomène CoVid-19

Le phénomène est décomposé en un ensemble d'éléments discrets autonomes dont les interactions reproduisent le phénomène. Dans notre cas, les éléments essentiels sont :

- Le citoyen : par définition, un citoyen est toute « personne jouissant, dans l'État dont il relève, des droits civils et politiques, et notamment du droit de vote (par opposition aux étrangers) ». Dans notre contexte, un citoyen est un membre (de la société) qui participe à une activité donné ; sa conception et ses caractéristiques dépendent de l'activité analysée.
- Les établissements (les lieux) : par définition, un établissement est un ensemble de locaux accueillant certains types d'activités. Dans notre contexte, nous allons nous limiter à une seule activité.
- La maladie CoVid-19 : la maladie est inséparable du citoyen et de l'établissement :
  - Elle peut être considérée comme une caractéristique du citoyen,
  - Sa contagion prend lieu dans les établissements suite au contact physique entre les citoyens. La transmission par gouttelettes se produit lorsqu'une personne parle, éternue ou tousse, et le virus est libéré par les sécrétions respiratoires. En entrant en contact direct avec la muqueuse d'un patient infecté, les gouttelettes tendent à transmettre le virus. Les gouttelettes ne se déplacent pas de plus de deux mètres et ne restent pas dans l'air. Cela soulève des incertitudes quant au mécanisme de transmission, car il existe peut-être d'autres moyens de s'infecter, par exemple en touchant des surfaces ou des objets sur lesquels se trouve le virus, puis en touchant la bouche, le nez ou les yeux.

- L'activité à modéliser peut être vue comme un comportement du citoyen qui prend lieu aussi dans les établissements.

4.2. Projection sur une activité donnée : enseignement par vagues au niveau des universités

Les responsables de cet établissement de l'enseignement supérieur veillent à moderniser le mode d'enseignement universitaire et à prévenir les enseignants et les étudiants des risques de contamination du Covid-19. Comme nous avons déjà indiqué, le ministre de l'Enseignement supérieur et de la recherche scientifique a affirmé la prise d'une série de mesures pour la réussite de l'année universitaire dont l'adoption du mode d'enseignement à distance, parallèlement à l'enseignement en présentiel, en application du protocole sanitaire de prévention contre le nouveau coronavirus. Concernant l'enseignement à distance, le ministre de l'Enseignement supérieur et de la recherche scientifique M. Abdelbaki BENZIANE a fait savoir que des cours-vidéos sont en cours d'élaboration via les plateformes numériques, citant les efforts consentis par les enseignants pour garantir un enseignement à distance.

La réorganisation de l'enseignement en présentiel n'est envisagé que lorsque les conditions sanitaires le permettent et dans le respect des normes établies. Les chefs d'établissements en concertation avec les instances pédagogiques affinent le dispositif opérationnel de reprise. Il s'agit notamment de :

- Organiser les enseignements en présentiel par vagues d'étudiants et par périodes bloquées aussi (ex dans l'université de Jijel : réserver 3 semaines d'enseignement pour les L1 et M2, puis 3 semaines pour les L3 et M1 Tassousst et enfin 3 semaines pour les L2 et M1 Jijel). Cette proposition présente l'avantage de réguler les flux d'étudiants et permet le respect des normes sanitaires.
- Les séances d'enseignement en présentiel peuvent être également programmées en complément aux enseignements à distance, au titre du tutorat et/ou de révision.
- Lors de la reprise des enseignements en présentiel, ne pas comptabiliser les absences éventuelles des étudiants.

Ainsi, nous pouvons projeter les éléments du phénomène définis d'une manière générique comme suit :

- L'activité visée est l'enseignement : nous allons nous limiter à l'aspect « contact » de cette activité. En effet, le mode d'enseignement en présentiel nécessite que les étudiants se trouvent dans des salles (espace fermé) pour des durée assez longues pour constituer un vrai risque de contagion même avec le port des bavettes.
- Le citoyen est l'étudiant, son comportement peut être défini par :
    - Le déplacement de sa maison vers l'université et le retour.
    - Le contact physique au niveau de l'université avec les autres étudiants.
- L'établissement visé est l'université. Elle constitue le lieu de l'enseignement, par conséquent, elle constitue un lieu de contact physique et un point de propagation de la maladie CoVid-19.
- Les lieux supplémentaires :
    - Les maisons : même si le lieu principal visé est- l'université, les étudiants ne vont y pas passer tout leur temps. En effet, le principe des vagues lui-même repose sur l'idée de ne pas laisser tous les étudiants se déplacer au même temps à l'université. Ainsi, les maisons vont être utilisées comme symbole d'absence de l'étudiant (lorsqu'il n'est pas à l'université).
    - Le corps médical : il constitue un élément clé face à la pandémie. Le corps médical est la ligne de défense principale face à la maladie, néanmoins, il possède une capacité limitée. Pour symboliser le corps médical, nous proposons d'utiliser l'hôpital.

4.3. La modélisation de chacun de ces éléments par un agent

Dans cette phase on va définir les capacités fonctionnelles, les comportements et les connaissances des agents, ainsi que le mode d'interaction. Dans notre contexte, un seul agent qui respecte ces conditions est défini :

- L'étudiant :
    - Ses caractéristiques :
        - Caractéristiques générales de forme:
            - La taille.
            - La forme « Personne ».

        - La couleur.
    - Caractéristiques liées au comportement : il s'agit essentiellement du déplacement :
        - Coordonnées de la destination : représente la destination d'où l'étudiant va déplacer.
        - La vitesse de déplacement des étudiants.
    - Caractéristiques liées au Covid-19 :
        - L'étudiant a guéri.
        - L'étudiant est dans un état grave.
        - L'étudiant est hospitalisé.
        - L'étudiant est infecté avec symptômes.
        - L'étudiant est infecté sans symptômes.
        - La période d'incubation du virus.
        - La période d'hospitalisation.
- Son comportement :
    - L'étudiant se déplace de sa maison vers l'université et vice-versa. Ce comportement est traqué en utilisant les caractéristiques liées au comportement citées ci-dessus.
- Le comportement collectif :
    - Sans le principe des vagues : les déplacements ne sont pas aléatoires. En effet, les étudiants se déplacent approximativement au même temps vers l'université (début de la journée) et retournent au même temps vers leurs maisons (fin de la journée). Le déplacement est direct et n'est pas aléatoire.
    - En suivant le principe des vagues : seuls les étudiants appartenant à une vague donnée (selon le programme fixé) se déplacent vers l'université. Le principe reste le même décrit ci-dessus pour la vague concernée. Les étudiants des autres vagues sont inactifs (pas de déplacement, ni d'activité concernant la maladie Covid-19).
- Son modèle de communication : les différents étudiants ne communiquent pas entre eux, l'objectif est de simuler le contact physique pas l'activité d'enseignement ou la communication sociale. Ainsi, l'agent communique uniquement avec l'espace

(l'environnement) pour connaître est-ce qu'il y a d'autres étudiants malades dans le même lieu ou pas.

4.4. La définition de l'espace

On appellera cet espace l'environnement des agents. On note les actions possibles des agents, ainsi que leurs moyens de communication.

Dans notre cas, l'environnement constitue l'espace dans lequel :

- Les étudiants se déplacent prennent contact,
- Les maisons sont positionnées,
- L'université est positionnée,
- L'hôpital est positionné.

L'environnement communique avec les étudiants. Il permet à un étudiant de savoir est-ce qu'i y a d'autres étudiants malades ou pas.

4.5. La définition des objets inertes

Dans le cas de la simulation de l'enseignement par vague à 'université, nous définissons trois objets inertes :

- Les maisons,
- L'université,
- L'hôpital.

Ces objets constituent des lieux de contacts. Ils constituent aussi des points de départ/d'arrivée pour le comportement de déplacement de l'étudiant. Néanmoins, ces objets n'ont aucune capacité de communication.

5. Simulation de la maladie

Comme étudié ci-dessus, la maladie est le résultat du contact physique. Néanmoins, nous n'avons pas une compréhension complète de la maladie, ainsi, plusieurs paramètres restent inconnus :

- Nombre des personnes infectés.

- La gravité de la maladie.
- La capacité de l'hôpital.
- La période d'incubation du virus.
- Le % de disponibilité du matériel à l'hôpital Le port de bavettes.
- L'utilisation du gel alcoolique.

Ainsi, l'utilisateur doit avoir la possibilité de modifier et d'adapter les valeurs de ces paramètres pour expérimenter avec les différentes possibilités.

6. Fonctionnalités désirées

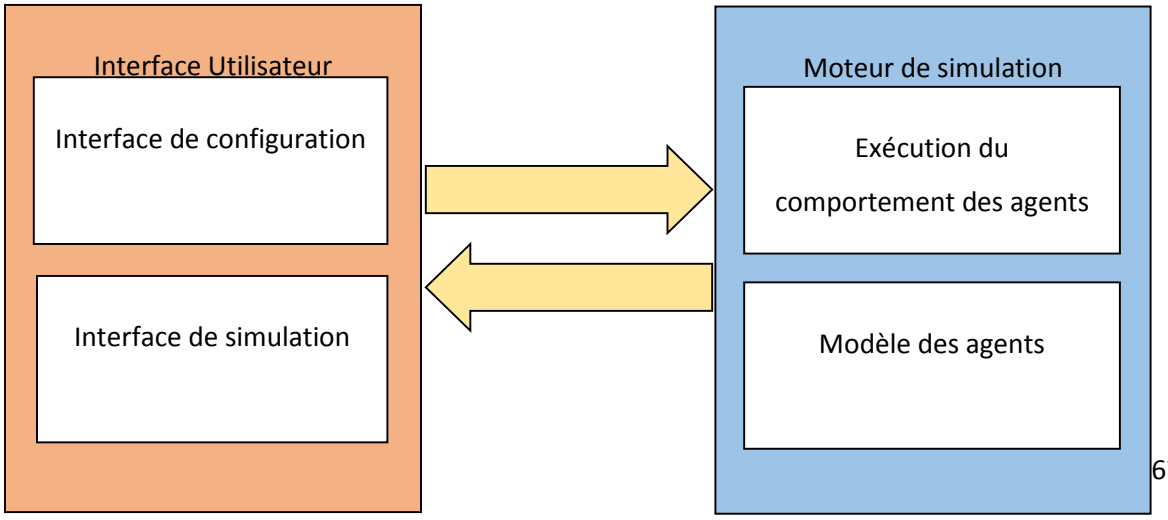
Suivant l'analyse effectuée, le système à développer doit garantir :

- La configuration et le paramétrage du phénomène : dans l'absence des données concrètes et précises, l'application doit offrir à l'utilisateur la possibilité de définir les différents paramètres de l'environnement, notamment, ceux qui concernent la maladie Covid-19 et sa propagation.
- L'exécution de la simulation : le système doit permettre à l'utilisateur de lancer et de voir le résultat de la simulation.

  En addition, il est préférable d'avoir :
  - Une interface riche qui visualise la simulation,
  - Une interface conviviale pour visualiser le résultat de la simulation.

7. Architecture

Le système doit être composé des modules suivants :



8. Cas d'utilisation

Pour mieux exprimer les fonctionnalités désirées, UML nous fournit le diagramme des cas d'utilisation qui permet de représenter l'aspect fonctionnel d'un système.

8.1. Les acteurs

Le système est utilisable par un seul utilisateur. Les caractères multiutilisateurs, de sécurité, et de partage ne sont pas considérés comme une priorité pour ce premier projet dans le contexte de simulation Covid-19. Ainsi, on définit un seul utilisateur « **utilisateur** » dans le diagramme des cas d'utilisation.

8.2. Liste des cas d'utilisation

Suivant les fonctionnalités définies ci-dessus, le système doit offrir deux cas d'utilisation :

- Configuration et paramétrage de la simulation,
- Exécution de la simulation.

8.3. Le diagramme des cas d'utilisation

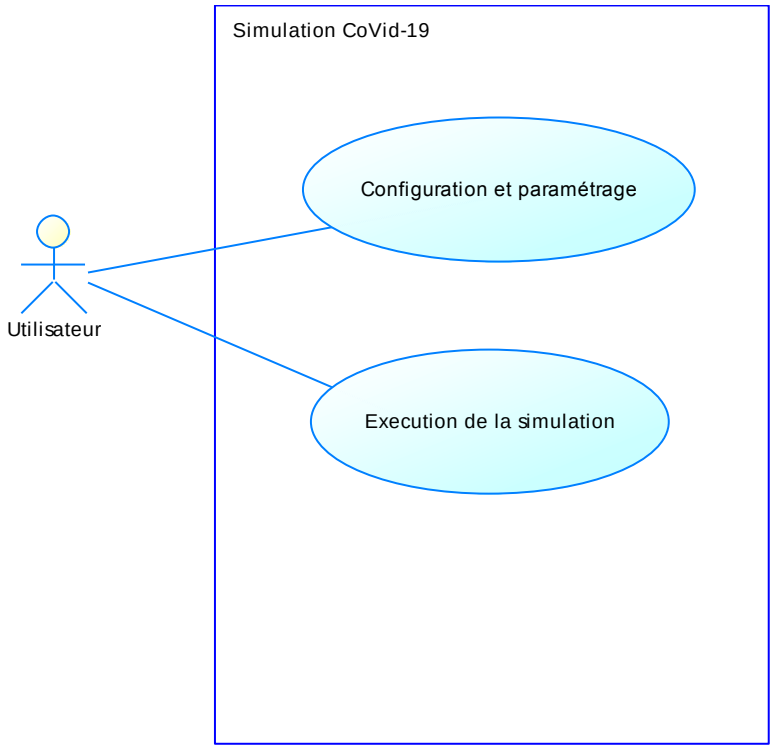


Figure 19: Diagramme de cas d'utilisation

8.4. Description des cas d'utilisation

8.4.1. Configuration et paramétrage

Titre	**Configuration et paramétrage**
Description	Ce cas d'utilisation permet à l'utilisateur de préciser les différents paramètres liés à la propagation de CoVid-19 et le comportement des malades et des étudiants.
Utilisateur	Utilisateur
Pré-condition	/
Enchaînement	• Sur l'interface principale, l'utilisateur introduit les différentes valeurs de paramètre, • L'utilisateur valide les paramètres en initialisant le système.
Exception	• Valeurs incorrecte : impossible d'initialiser le système.
Poste-condition	• Simulation initialisée

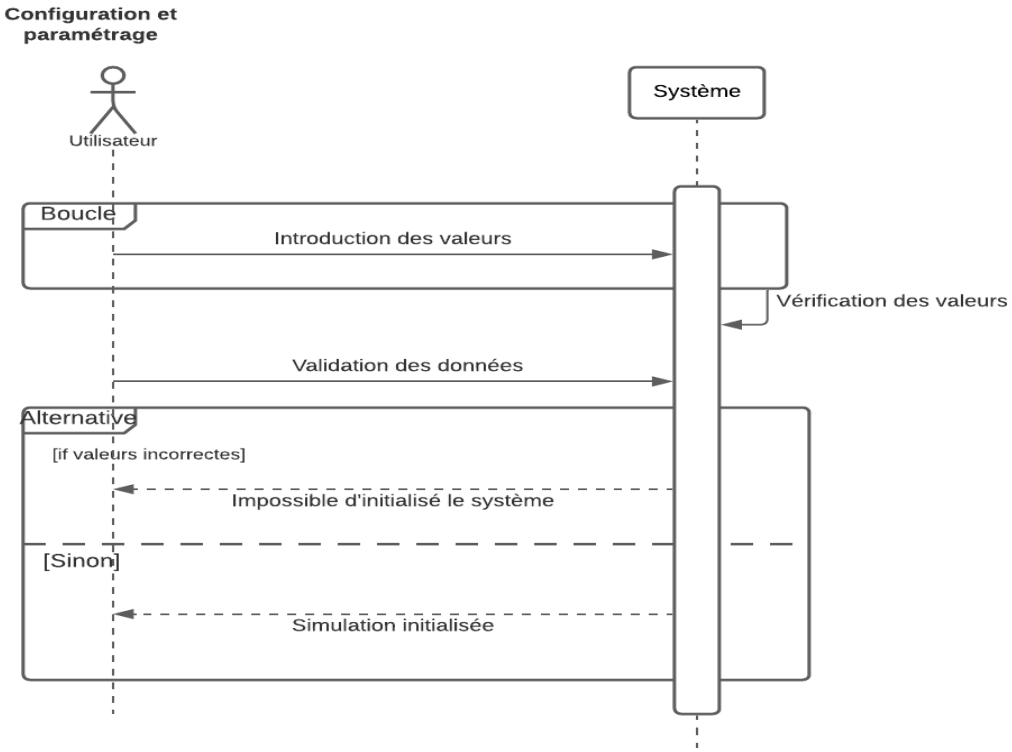


Figure 20: Diagramme de séquence (configuration et paramétrage)

8.4.2. Exécution de la simulation

Titre	**Exécution de la simulation**
Description	Ce cas d'utilisation permet à l'utilisateur de lancer la simulation, de la suivre et 'obtenir ses résultats.
Utilisateur	Utilisateur
Pré-condition	Simulation initialisée
Enchaînement	• Sur l'interface principale, l'utilisateur lance la simulation, • Le système affiche la progression de la simulation ainsi que ses résultats.
Exception	/
Poste-condition	• Simulation terminée (état final atteint)

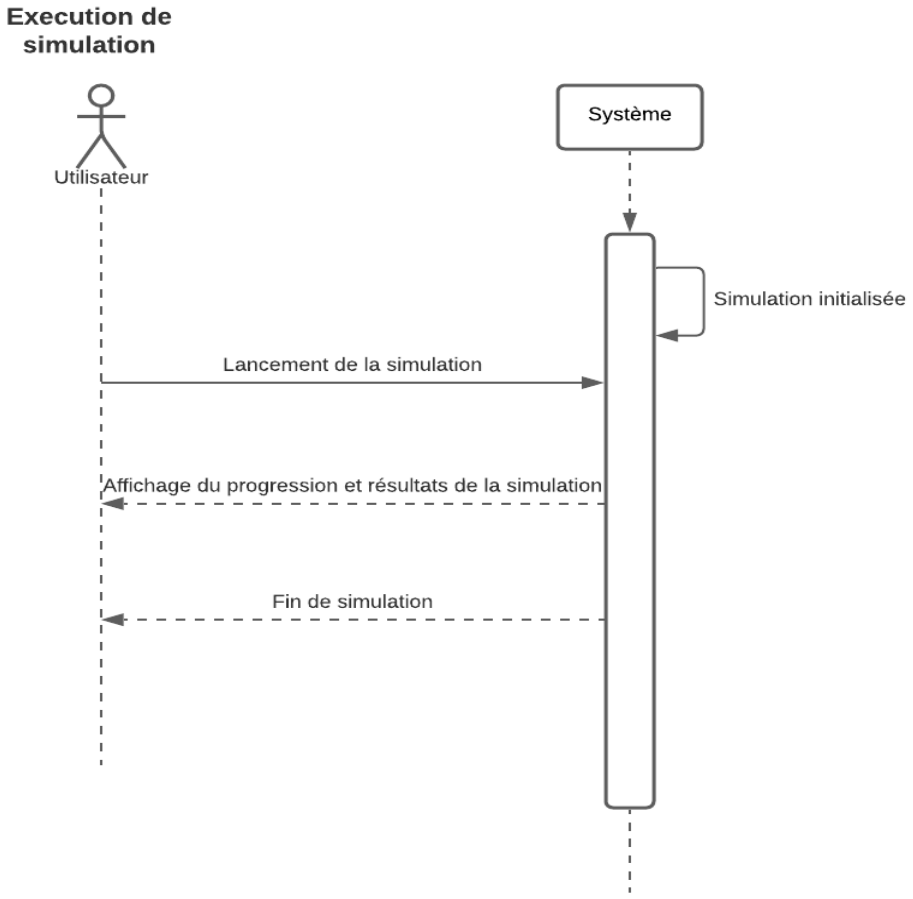


Figure 21: Diagramme de séquence (exécution de simulation)

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principaux enjeux du projet. Nous avons utilisé également les connaissances acquises dans la recherche théorique pour proposer une solution à la problématique posée. L'étape suivante consiste à concevoir le système, qui traduira cette analyse en une solution informatique. C'est l'objectif du chapitre suivant.

CHAPITRE 5 : CONCEPTION

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons transformer les solutions proposées en solutions informatiques. Pour cela, nous utiliserons le langage UML sélectionné comme langage de représentation de la solution à développer. Nous décrirons également les algorithmes qui décrivent les comportements liés à ce phénomène, ainsi que le diagramme d'activité et le diagramme de classe de notre système. Ainsi, le diagramme d'état de transition et le diagramme de séquence détaillée.

1. Conception de la simulation

Suivant l'approche de conception à base d'agent, il est temps de concevoir le comportement des différents agents. Le phénomène immerge à partir du comportement collectif des agents. Comme nous avons vu dans le chapitre précédent, la seule classe des agents actifs est la classe Etudiant. Les autres agents ne présentent aucun comportement.

La classe Etudiant présente deux types de comportements :

- Comportement lié à l'activité : l'activité essentielle de l'étudiant est d'apprendre, néanmoins, le comportement qui nous intéresse est le contact avec les autres étudiants.
- Comportement lié à la pandémie Covid-19 : nous pouvons distinguer :
    - Contraction de la maladie (propagation)
    - Evolution de la maladie.

La mesure du confinement visée est l'enseignement par vague, c'est-à-dire, sur les étudiants d'une vague sont concernés par le comportement du déplacement vers l'université à un moment donné (une période donnée).

2. Algorithmes des différents phénomènes

2.1. Algorithme Déplacement

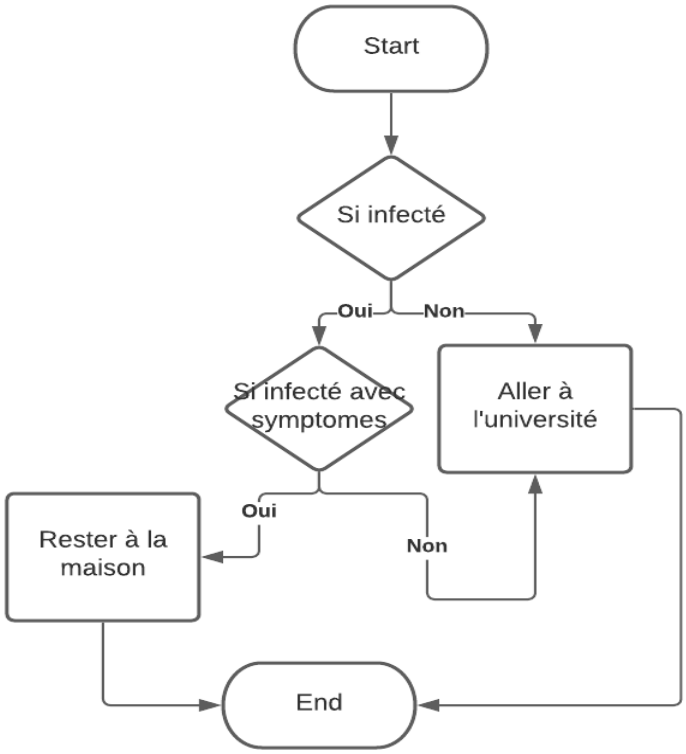


Figure 22: Algorithme de déplacement

Le déplacement d'un étudiant vers l'université survient lorsque :

- L'étudiant n'est pas infecté,
- L'étudiant ne sait pas qu'il est infecté.

Dans le cas restant (l'étudiant est infecté et il sait qu'il infecté, c'est-à-dire, il présente des symptômes), nous supposons qu'il respectera les consignes et, par conséquent, éviter de se déplacer vers l'université.

2.2. Algorithme Propagation

Le mécanisme de propagation du Covid-19 ressemble aux autres maladies respiratoires infectieuses : le contact physique avec une personne infectée. Néanmoins, entrer en contact avec

une personne malade ne veut pas dire la transmission à coup sûre. En effet, la transmission survient à une probabilité donnée.

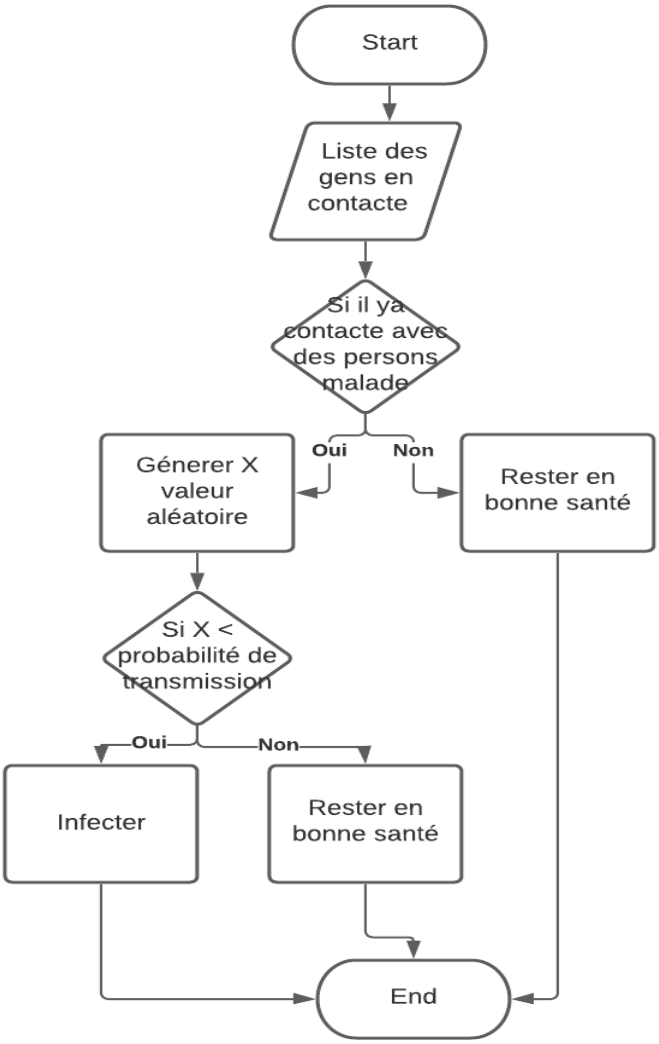


Figure 23: Algorithme de propagation

Ainsi, l'algorithme définit deux conditions à remplir avant de signaler la transmission de la maladie :

- L'étudiant doit entrer en contact avec d'autres étudiants malades. Il est important de noter que l'étudiant n'entre pas en contact avec tous les autres étudiants mais avec un certain nombre d'entre eux seulement (amis proches, étudiants proches dans les salles).

Ainsi, « liste agents en contact » doit retourner un nombre limité seulement d'agents qui se trouve à la même place (l'université).

- A chaque contact, la transmission dépend d'une probabilité (générée dans notre cas par une valeur aléatoire).

2.3. Algorithme : Evolution

Une fois infectée, la maladie évolue selon plusieurs critères :

- Seule une partie des malades présentent des symptômes graves,
- Seule une partie de ces malades ne peuvent pas récupérer (et décèdent).

Néanmoins, plusieurs facteurs jouent un rôle majeur. Nous citons la capacité des hôpitaux. En effet, l'objectif des différents mesures n'est pas empêcher la propagation de la maladie, chose qui semble impossible, mais à la ralentir pour permettre au corps médical de sauver les gens, d'où la notion d' « Aplatir la courbe ».

L'algorithme résume ces trois cas. Comme pour l'algorithme précédent, la génération d'un nombre aléatoire est utilisée en association avec une probabilité pour déterminer le nombre de personnes qui tomberont gravement malade. En cas de saturation des hôpitaux, toute personne qui tombe gravement malade n'a plus la chance de survivre.

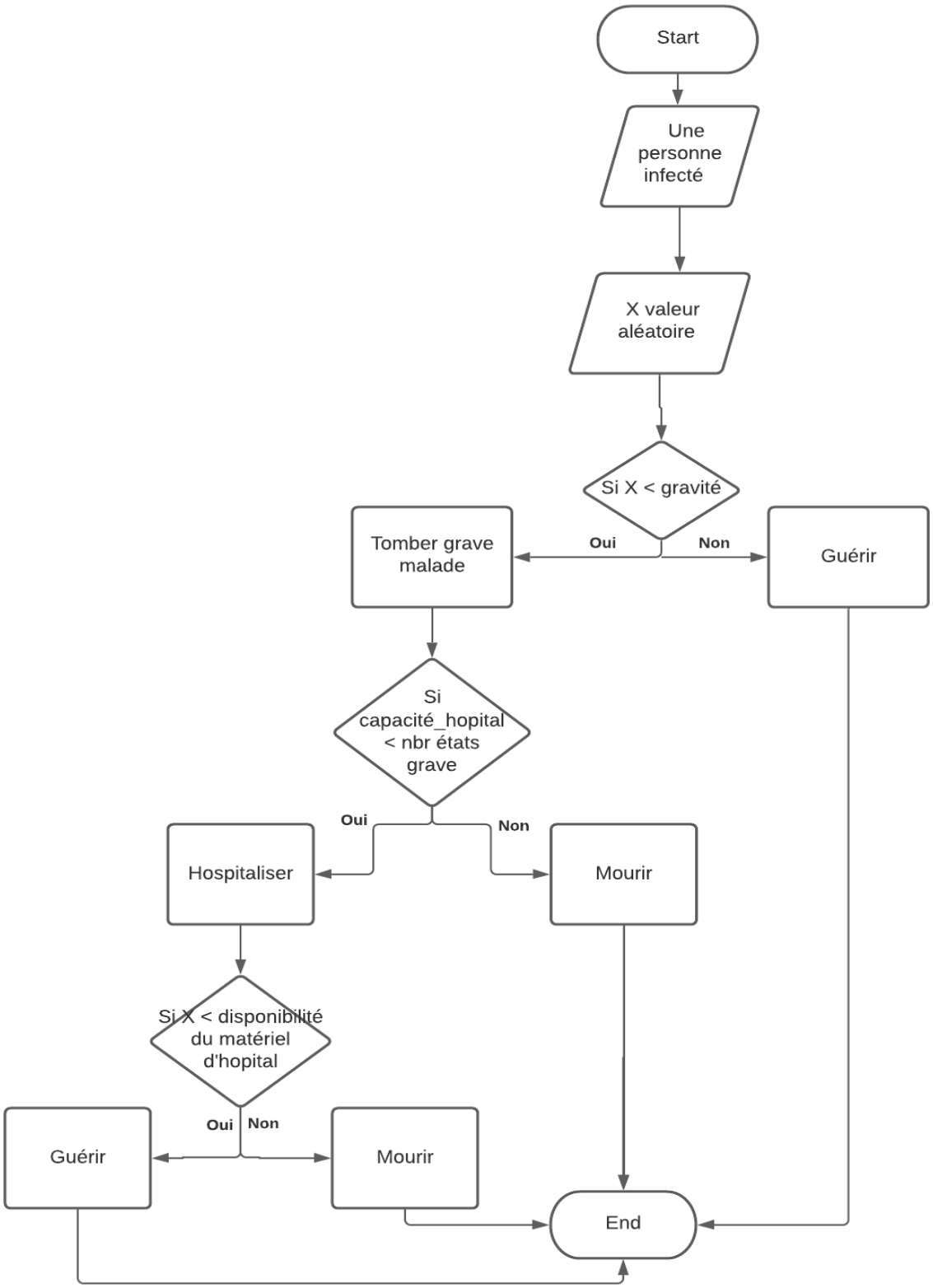


Figure 24: Algorithme évolution

2.4. Enseignement par vague

Aucune différence n'est à signaler entre un enseignement normal et un enseignement par vagues. Les mêmes algorithmes restent applicables, la différence réside seulement dans l'ensemble des agents sur lesquels les algorithmes sont appliqués.

3. Fonctionnement du système

Le système tourne dans une boucle qui :

- Fait appel à la fonction de propagation pour déterminer les nouveaux cas,
- Fait appel à la fonction d'évolution pour déterminer le sort de chaque cas du Covid-19,
- Fait appel à la fonction mouvement qui définit le déplacement de chaque agent suivant son état.

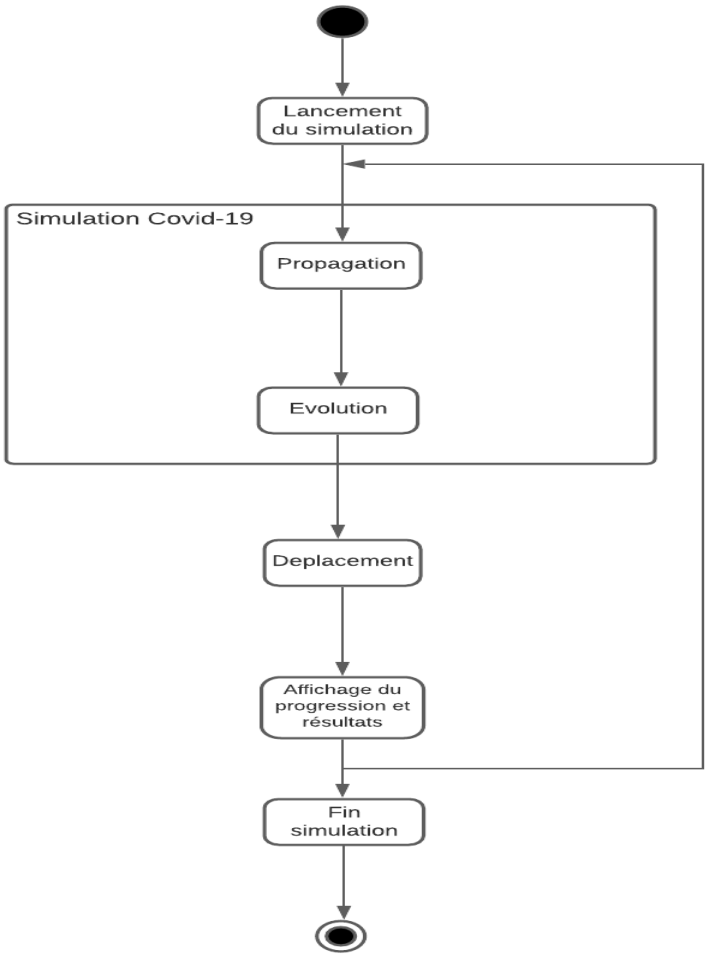


Figure 25: Diagramme d'activité

L'exécution suivant cet enchaînement reste identique dans les deux cas : enseignement normal et enseignement par vague.

4. Diagramme de classes de la simulation

Les données nécessaires

Les deux classes actives sont la classe Etudiant 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 :

- La classe agent : la base de toutes les autres classes d'agents,
- La classe Etudiant qui assure le comportement de l'étudiant,

- Les classes inactives qui représentent des lieux dans l'environnement.
- L'environnement se compose d'un ensemble d'agents de différentes classes selon le besoins.

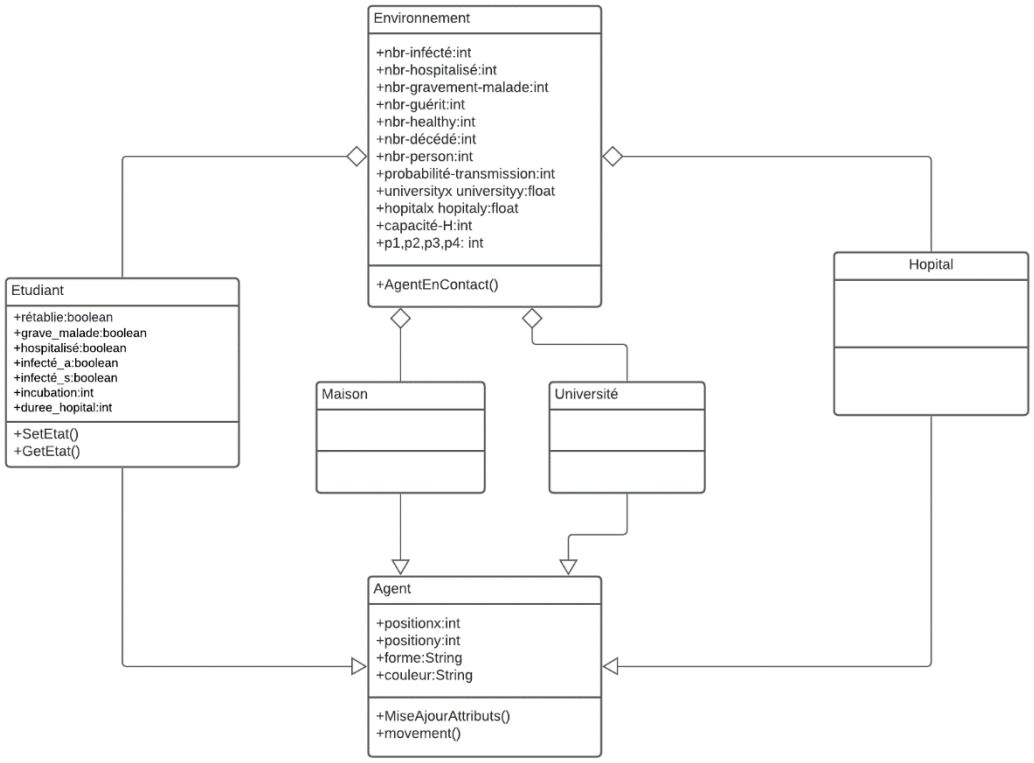


Figure 26: Diagramme de classe (enseignement sans vague)

Pour pouvoir supporter l'enseignement par vague, nous devons pouvoir connaître la vague de chaque étudiant, ainsi, il est nécessaire d'ajouter une propriété « vague » à la classe Etudiant.

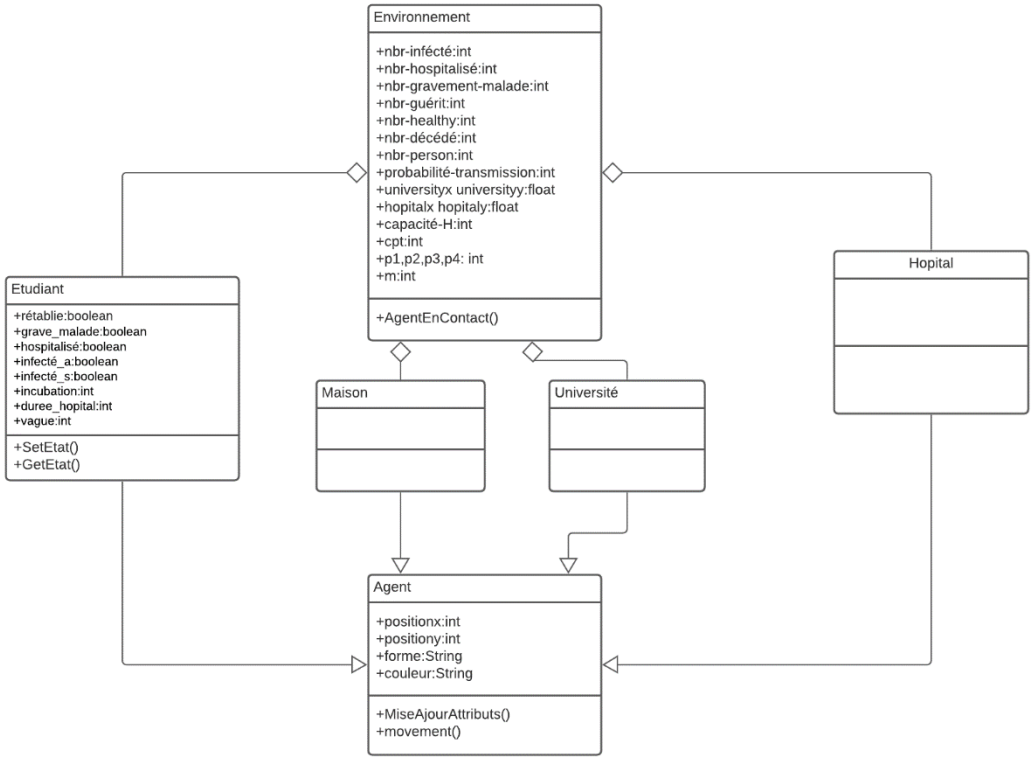


Figure 27: Diagramme de classe (enseignement avec vague)

5. Diagramme d'état transition

Ce diagramme représente les différents états d'un agent de type Etudiant. Lors de l'initialisation, nous avons une population avec des étudiants en bonne santé, malade avec symptômes et malades sans symptômes.

A la fin de simulation, nous auront les trois possibilités : des personnes en bonne santés qui n'ont jamais été touchées la maladie, des personnes guéries et des personnes décédées.

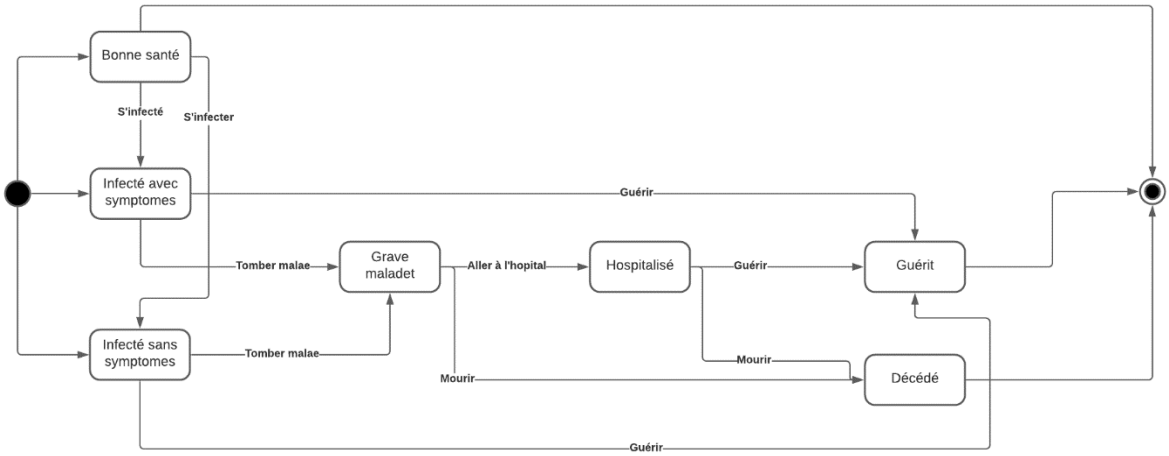


Figure 28: Diagramme d'état transition

6. Diagramme de séquence détaillée

En plus que les classes du modèle de données, il est important de posséder

- Le moteur SMA : ce moteur exécute l'enchaînement principal du système en se basant sur la configuration et le comportement des différents agents. Il représente le contrôleur principal du système.
- Une interface Homme/Machine qui permet de :
  - Configurer le système ;
  - Afficher la progression et le résultat de la simulation.

6.1. Cas d'utilisation : Configuration et paramétrage

Le paramétrage du système permet au moteur SMA de récupérer la configuration introduite par l'utilisateur et de créer, suivant cette configuration, l'environnement et les différents agents.

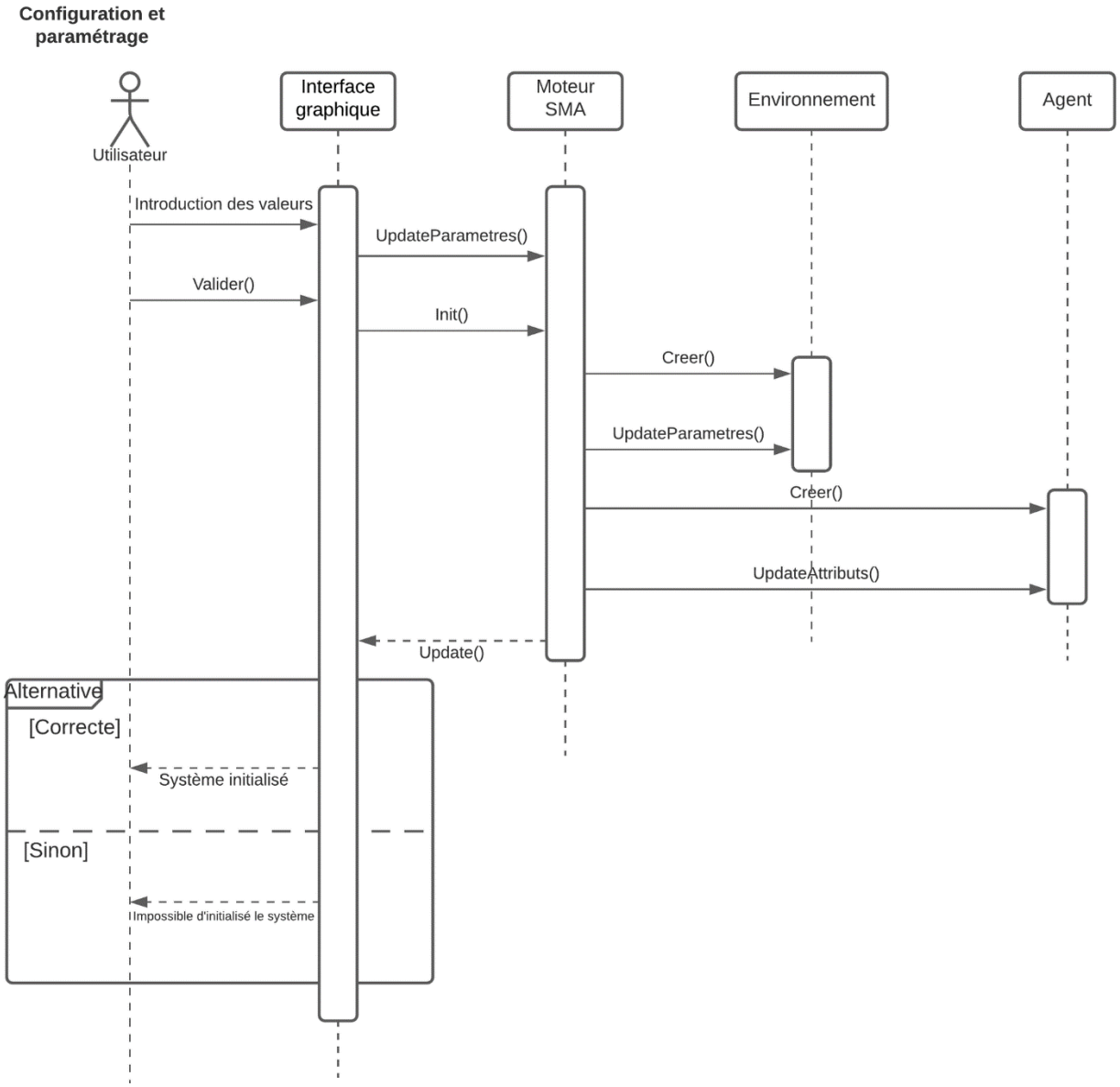


Figure 29: Diagramme de séquence détaillé (configuration et paramétrage)

6.2. Cas d'utilisation : Exécution de la simulation

En lançant la simulation, le moteur SMA enchaîne les différentes étapes du système (propagation, évolution, mouvement et mise à jour de l'interface Homme/Machine). A chaque étape, il convoque les méthodes adéquates des classes Environnement et Etudiant ; les autres classes d'agents sont inactives.

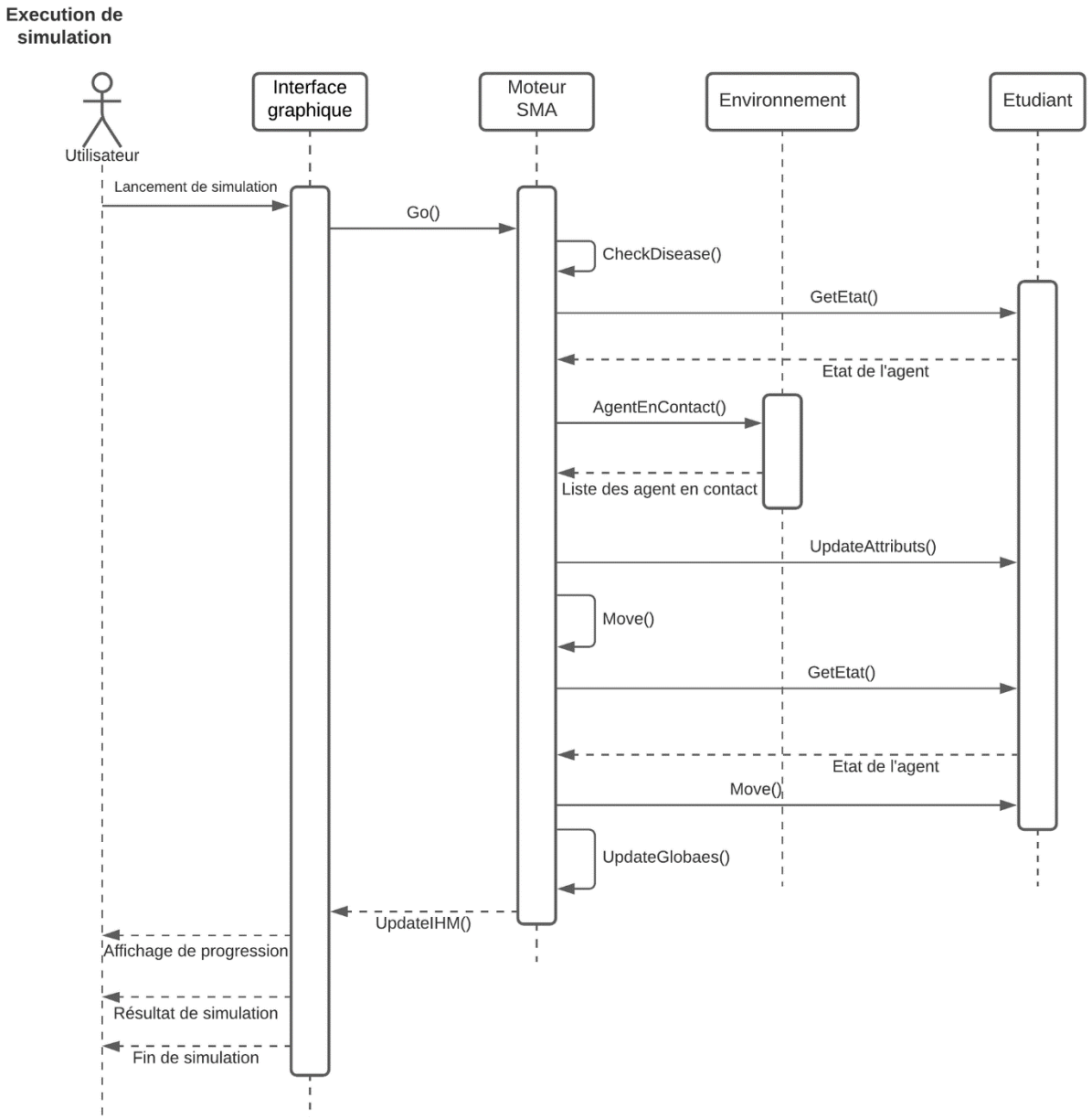


Figure 30:Diagramme de séquence détaillé (exécution de la simulation)

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisé les choix conceptuels et les solutions proposées dans la phase d'analyse pour concevoir une solution complète. Le langage de modélisation utilisé est UML. L'étape suivante consiste à traduire cette conception en une solution informatique efficace. Le prochain chapitre présentera spécifiquement notre projet.

CHAPITRE 6 : REALISATION

Introduction

Passons maintenant au dernier chapitre détaillant la mise en œuvre de notre projet. Pour réaliser ce travail, nous avons utilisé le logiciel NetLogo qui est facile à apprendre et à maîtriser. Nous déciderons des différents choix technologiques : langage, fonction, bibliothèque utilisée, etc. Ensuite, nous montrerons quelques captures d'écran de notre application.

1. NetLogo

1.1. Description

NetLogo est un environnement de modélisation programmable permettant de simuler des phénomènes naturels et sociaux. Il a été créé par Uri Wilenski en 1999 et son développement est poursuivi de manière continue par le Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling. NetLogo convient tout particulièrement à la modélisation de systèmes complexes évoluant au cours du temps. Il permet de donner des instructions à des centaines ou des milliers d'agents opérant indépendamment les uns des autres, ce qui permet d'explorer les liens entre les comportements des individus à leur niveau et les schémas généraux (comportements de groupe ou de masse) qui émergent des interactions entre de nombreux individus.

NetLogo permet aux apprenants d'ouvrir des modèles et d’expérimenter avec leurs simulations pour explorer leurs comportements en faisant varier diverses conditions (paramètres). C'est aussi un environnement de programmation permettant aux étudiants, aux enseignants et aux développeurs de cours de formation de créer leurs propres modèles. NetLogo est suffisamment simple pour permettre aux étudiants et aux enseignants d'utiliser les simulations sans trop de difficultés, voire d'en concevoir eux-mêmes. Mais il est aussi assez performant pour servir d'outil puissant pour des chercheurs dans de nombreux domaines.

NetLogo est accompagné d'une documentation complète et de nombreux tutoriaux. Il est également livré avec une Bibliothèque de modèles qui comprend une grande collection de simulations fonctionnelles pouvant être utilisées telles quelles ou modifiées selon les besoins de l'utilisateur. Ces simulations couvrent de nombreux domaines des sciences naturelles et sociales,

y compris la biologie et la médecine, la physique et la chimie, les mathématiques et l'ingénierie informatique ainsi que l'économie et la psychologie sociale.

NetLogo représente la nouvelle génération de toute une série de langages de modélisations multi-agents qui a débuté avec Star Logo. Il a été construit à partir des bases fournies par le logiciel StarLogo auquel il apporte toute une série de nouvelles fonctionnalités significatives ainsi qu'un langage et une interface utilisateur entièrement remaniés. NetLogo étant écrit en Java, il peut tourner sur tous les systèmes majeurs (Mac, Windows, Linux et autres). Il fonctionne en tant qu'application indépendante. (netlogo user manual, s.d.)

1.2. Fonctionnalités du NetLogo

Consultez la liste ci-dessous pour prendre connaissance des fonctionnalités offertes par NetLogo. (netlogo user manual, s.d.)

- Système : Multiplateforme : tourne sur Mac, Windows, Linux, et autres.
- Langage :
  - ✓ Entièrement programmable
  - ✓ Structure du langage simple
  - ✓ Dialecte Logo étendu pour supporter les agents
  - ✓ Agents mobiles (les tortues) se déplaçant sur une grille formée d'agents stationnaires (les patches)
  - ✓ Création de liens entre les tortues pour former des agrégats, des réseaux et des graphes
  - ✓ Important vocabulaire de primitives intégrées au langage
  - ✓ Calculs en virgule flottante double précision (IEEE 754)
  - ✓ Fonctionnement absolument identique sur toutes les plateformes.

- Environnement :
  - ✓ Observation des modèles en 2D ou en 3D
  - ✓ Formes vectorielles redimensionnables et pivotantes
  - ✓ Étiquetage des agents et des patches
  - ✓ Centre de commande pour un pilotage interactif (en direct) de la simulation

- ✓ Interface pouvant recevoir des boutons, des curseurs, des commutateurs, des traceurs de courbes, des sélecteurs, des moniteurs, des boîtes de texte, des notes, des zones de sortie
- ✓ Variateur de vitesse pour accélérer ou ralentir la simulation
- ✓ Système de sortie graphique puissant et souple
- ✓ Panneau d'informations pour annoter les modèles
- ✓ Hub Net : simulation participative utilisant des machines en réseau
- ✓ Moniteurs d'agent pour inspecter et contrôler les agents
- ✓ Fonctions d'exportation et d'importation (exportation des données, sauvegarde et restauration de l'état d'un modèle, création et enregistrement d'une animation)
- ✓ Outil BehaviourSpace (espace de comportements) utilisé pour collecter des données provenant de plusieurs sessions de simulations
- ✓ Modélisation de systèmes dynamiques.

- ➢ Web : Modèles enregistrables sous forme d'applets pouvant ensuite être intégrés dans des pages web (note : certaines fonctionnalités ne sont pas disponibles dans les applets, telles que certaines extensions et la visualisation 3D).

1.3. Bibliothèque de modèles NetLogo

Si vous téléchargez NetLogo, tous les modèles de la bibliothèque de modèles sont inclus. Ils sont destinés à être des exemples de bonnes pratiques de codage et de documentation. Les modèles marqués « non vérifiés » sont également complets et fonctionnels, mais sont toujours en cours de révision pour le contenu, la précision et la qualité du code.

Les « modèles de communauté d'utilisateurs NetLogo » sont des modèles fournis par la communauté d'utilisateurs pour être partagés avec d'autres utilisateurs de NetLogo. Ils ne sont pas inclus avec NetLogo, mais sont disponibles sur le Web.

2. Reprise de notre conception sous NetLogo

NetLogo propose des fonctionnalités très utiles pour la manipulation des modèles agents. Il permet de donner des directives à des ensembles ou sous-ensembles d’agents. On peut ainsi

désigner l'ensemble des agents mais aussi prendre un sous-ensemble. Pour cela nous pouvons créer des espèces qui sont manipulables comme des ensembles d'agents.

Par rapport à notre conception, NetLogo nous offre des composants de base comme :

- L'interface graphique : NetLogo nous permet d'ajouter des composants graphiques pour introduire des données. Il permet aussi de les lier à des variables qui permettent la récupération des valeurs introduites très simple.
- Le moteur SMA : le composant principal de NetLogo est un moteur SMA comme il est décrit ci-dessus. Ainsi, il nous offre des fonctions pour manipuler les différents objets créés.
- L'environnement et agent.

La présence de ces composants nous permet de se focaliser sur les éléments propres à notre cas au lieu de traiter les éléments communs à tous les simulations à base des SMA. Cela est fait en créant des listes d'objets pour les Etudiants, les maisons, l'université et l'hôpital en ajoutant à chaque classe d'agents ses propres attributs.

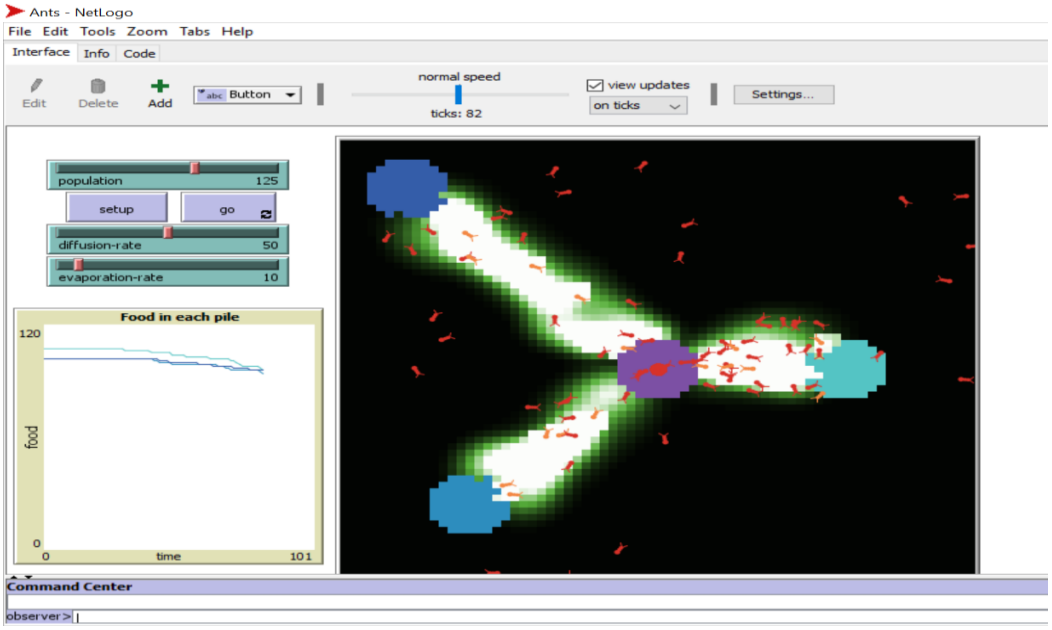
Si cette simulation sera faite par un autre langage de programmation, il sera nécessaire de créer une interface graphique, ainsi que le moteur SMA, ce qui constitue une tâche très lourde.

3. Exemple

Dans ce projet, une colonie de fourmis cherche de la nourriture. Bien que chaque fourmi suive un ensemble de règles simples, la colonie dans son ensemble agit de manière sophistiquée. Lorsqu'une fourmi trouve un morceau de nourriture, elle ramène la nourriture au nid, laissant tomber un produit chimique pendant qu'elle se déplace. Lorsque d'autres fourmis « reniflent » le produit chimique, elles suivent le produit chimique vers la nourriture. Comme de plus en plus de fourmis transportent de la nourriture jusqu'au nid, elles renforcent la piste chimique.

Cliquez sur le bouton SETUP pour installer le nid de fourmis (en violet, au centre) et trois tas de nourriture. Cliquez sur le bouton GO pour démarrer la simulation. Le produit chimique est représenté dans un dégradé vert à blanc. Le curseur EVAPORATION-RATE contrôle le taux d'évaporation du produit chimique. Le curseur DIFFUSION-RATE contrôle le taux de diffusion du produit chimique. Si vous souhaitez modifier le nombre de fourmis, déplacez le curseur

POPULATION avant d'appuyer sur SETUP. La primitive de diffusion intégrée nous permet de diffuser facilement le produit chimique sans code compliqué. Le patch primitif droite et avance est utilisé pour que les fourmis sentent dans différentes directions sans réellement se retourner.



4. Utilisation de NetLogo

En date du mois de février 2020, il s'agit d'un projet en ligne et sa dernière mise à jour remonte à Décembre 2020. Il est également possible utiliser Net Logo Web, une plate-forme basée sur un navigateur.

4.1. Structure d'agent simple

Un programme NetLogo est une suite de procédures qui permettent lors de leurs exécutions de simuler le comportement des objets créés (agents et environnement). Comme cela a été vu dans le deuxième chapitre, un système multi-agents est caractérisé par une architecture statique (l'environnement et les espèces) et des comportements qui déterminent la dynamique du système, les interactions et l'émergence d'organisation. La dynamique du système est fortement conditionnée par une situation initiale qu'il convient de calibrer afin d'obtenir des résultats intéressants :

- La définition de la structure du modèle ce qui revient à définir les variables globales du modèle, la structure de l'environnement et les espèces
- La définition d'un état initial en identifiant des paramètres dans l'interface utilisateur ;
- La définition des comportements des agents et de l'environnement au travers de procédures
- La définition des sorties du modèle.

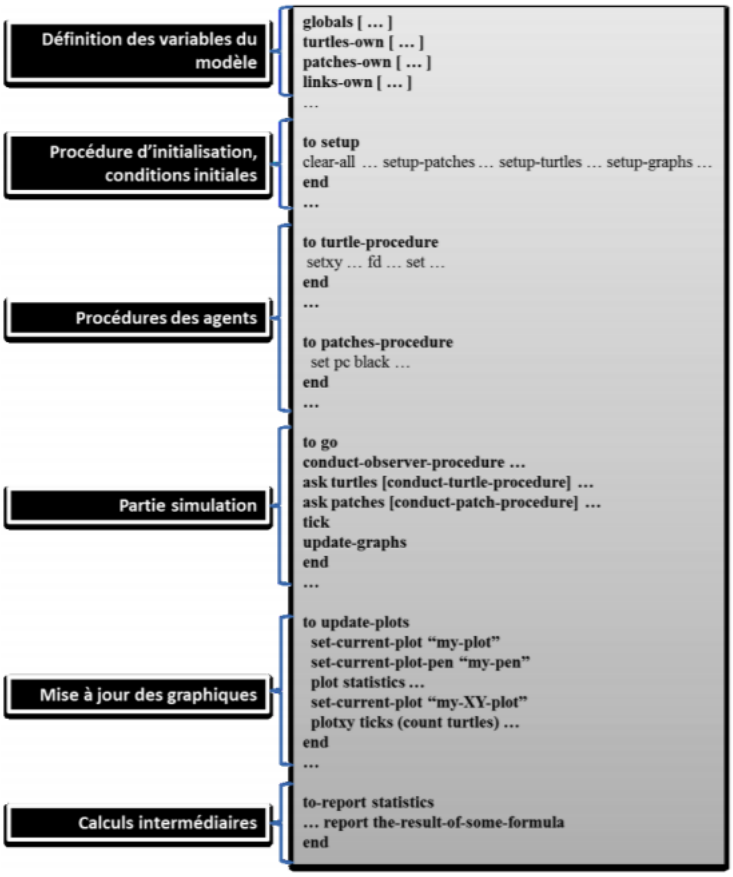


Figure 31: La structure d'un agent NETLOGO

La figure propose une organisation conseillée d'un programme NetLogo. Cette organisation se décompose comme suit :

- la déclaration et définition de la structure du monde, des variables globales et des espèces.
- la définition d'un état initial décrit au sein de procédures préfixées setup (1 par espèce). Ces procédures sont appelées par une procédure générale conventionnellement appelée setup.

- la définition du comportement des agents.
- la définition du cycle des agents et de l'environnement au sein de procédures préfixées go (1 par espèce). Ces procédures sont appelées par une procédure générale conventionnellement appelée go.
- la définition de procédures pour la mise à jour des sorties du modèle notamment des graphiques.

4.2. Simulation NetLogo

Le modélisateur de la dynamique du système permet de créer des modèles dynamiques des systèmes. Le manuel relatif à la dynamique du système définit la différence entre les deux modèles : modèles basés sur les agentset dynamique du système comme suit : Avec l'approche basée sur les agents dans NetLogo, il faut programmer le comportement des agents individuels puis observer ce qui se dégage de leur interaction et lors de l'exécution de la simulation sous forme d'un comportement de niveau agrégé émergent. Avec le modélisateur de la dynamique des systèmes, vous ne programmez pas le comportement des agents individuels. Vous programmez plutôt le comportement des populations d'agents dans leur ensemble.

5. Quelque capture de notre application

L'interface Homme/Machine de notre application repose sur les composants offerts par NetLogo. Nous avons utilisé :

- Des barres de progression pour permettre l'introduction des différents paramètres,
- Deux boutons pour lancer les deux cas d'utilisation,
- Un graphe pour permettre de visualiser les résultats de la simulation,
- Des zones de texte pour afficher les différents indicateurs liés à la simulation.

NetLogo nous offre aussi un composant qui permet de visualiser les différents agents (Etudiants, Maisons, Université et Hôpital).

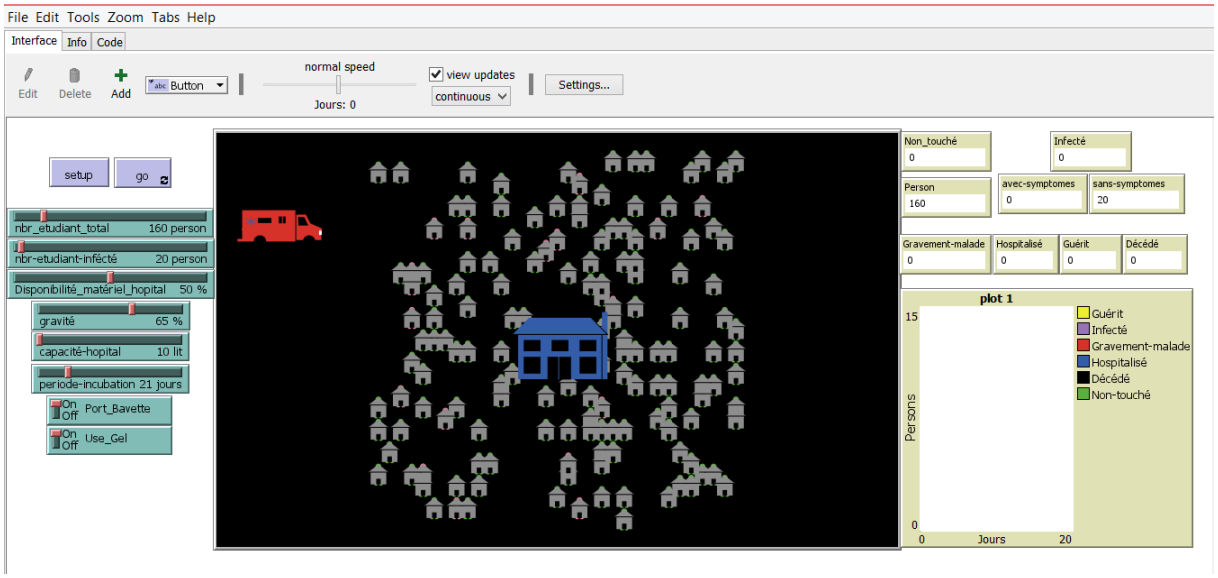


Figure 32:L'interface de l'application

La simulation sans utiliser le principe des vagues implique le déplacement de tous les agents (tous les étudiants se déplacent à l'université).

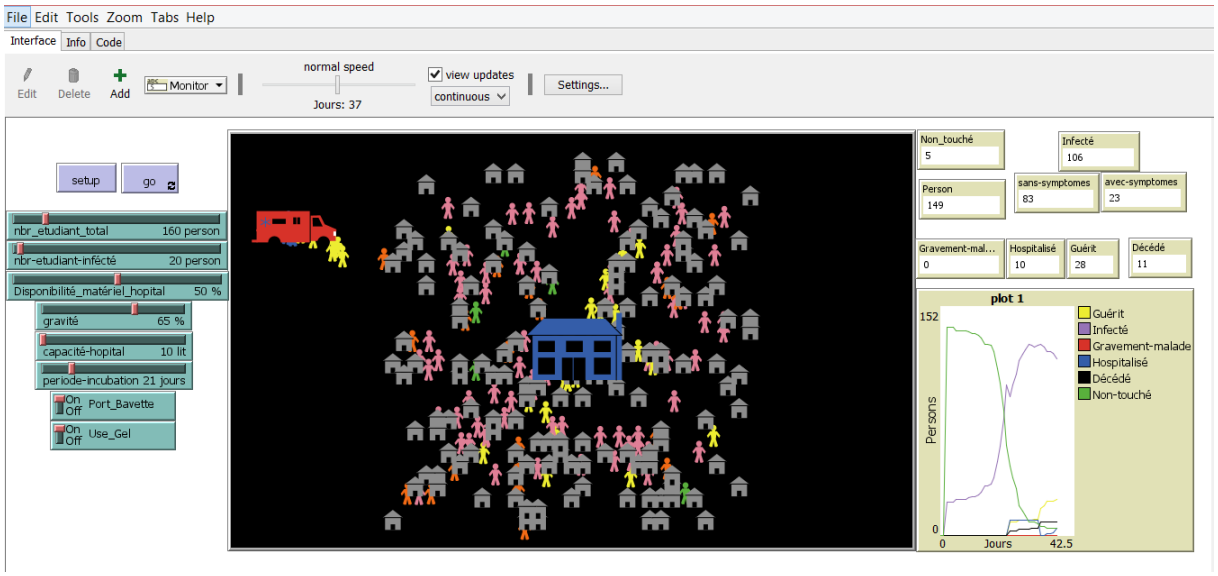


Figure 33: Exécution (sans vagues)

La simulation avec vagues implique le déplacement des étudiants d'une seule vague les autres agents restent inactifs.

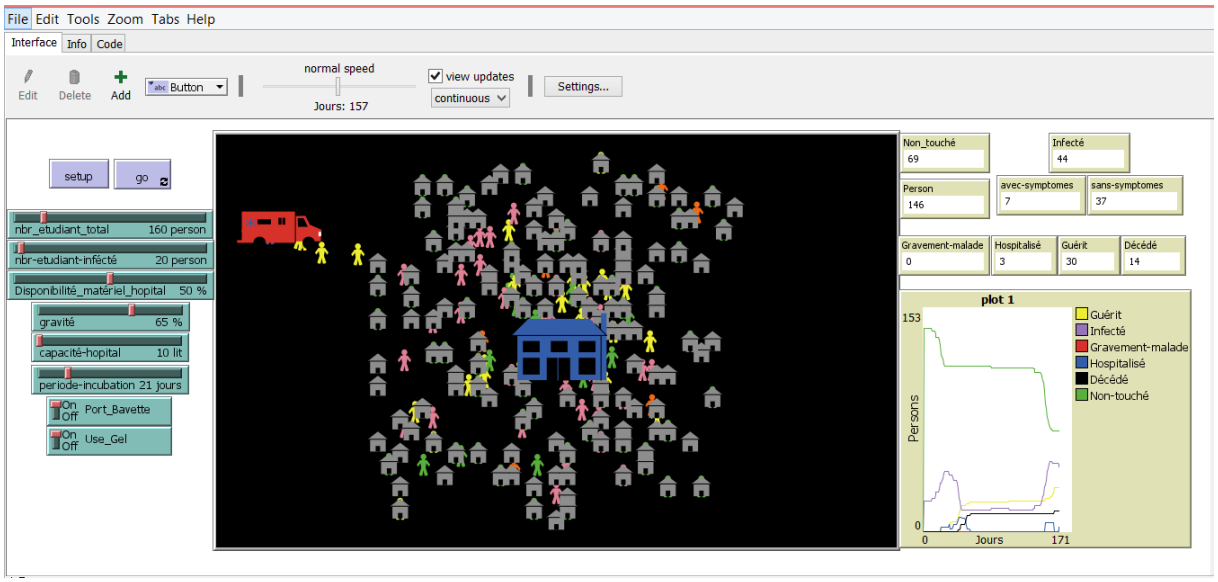


Figure 34:Exécution (avec vagues)

La simulation touche à sa fin lorsque les valeurs se stabilisent. Dans cette première simulation, nous constatons que les valeurs se stabilisent comme suit :

- 84 décès,
- 67 guéris,
- 9 étudiants qui n'ont pas été touchés par la pandémie.

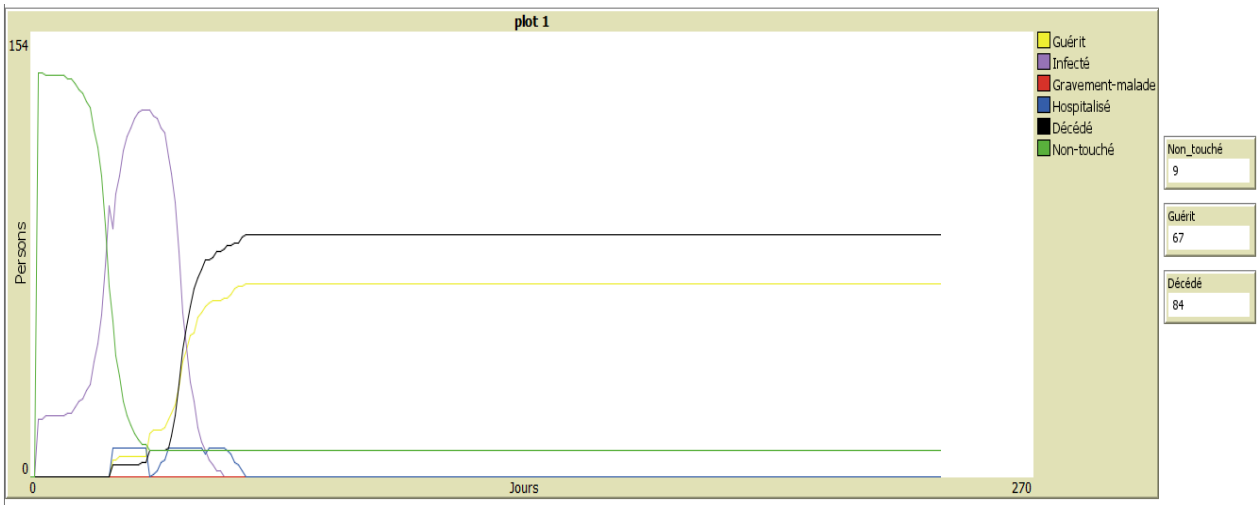


Figure 35:Résultat (sans vagues)

De même la simulation avec vagues se stabilise sur les valeurs suivantes :

- 35 décès,
- 68 guéris,
- 57 étudiants qui n'ont pas été touchés par la pandémie.

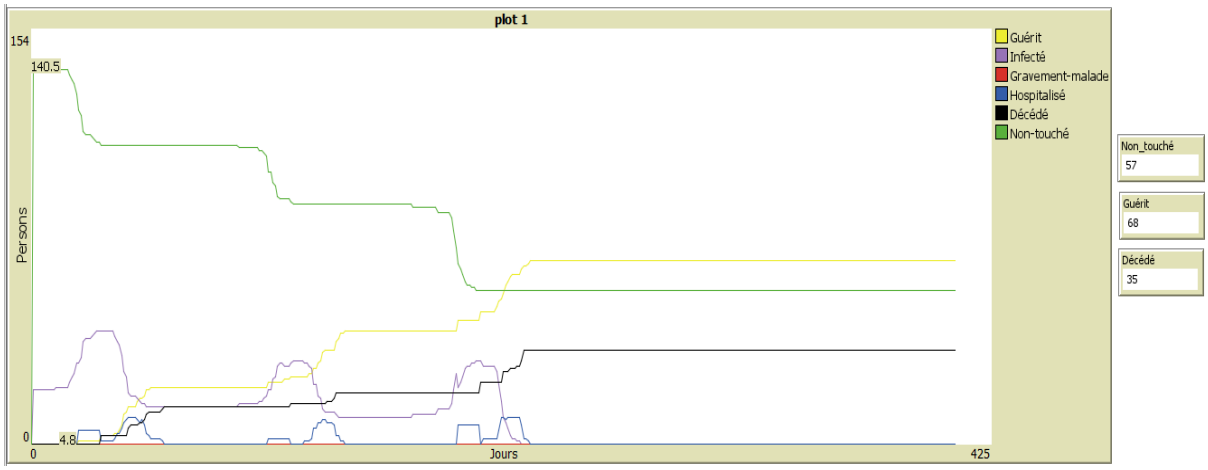


Figure 36: Résultat (avec vagues)

6. Discussion des résultats

Les différents tests ont confirmé la capacité de NetLogo à exécuter la simulation implémentée en respectant la conception réalisée. Il était aussi possible de contrôler la vitesse de la simulation. L'affichage des agents ainsi que les graphes des résultats était très souples et les différents indicateurs étaient clairs et mis à jour en temps réel.

Vu que les algorithmes reposent sur des fonctions de probabilités, différentes exécutions peuvent donner des résultats différents, néanmoins, ces résultats restent très proches et la différence entre l'exécution sans vagues et l'exécution avec vagues reste visible.

Les résultats montrent que le principe des vagues peut avoir une amélioration considérable de la situation pandémique. Cette amélioration se montre sur trois niveaux :

- Le principe de vague permet de sauver des vies : dans la majorité des simulations que nous avons effectuées, la différence entre le nombre de décès entre les deux types de simulations est très remarquable.

- Le principe permet de réduire la charge sur le corps médical : le principe de vagues permet d'aplatir visiblement la courbe des cas enregistrés. En effet, en utilisant le principe des vagues, le nombre de décès peut diminuer même avec des capacités d'hospitalisation moins importante.
- Le principe de vagues permet d'atteindre la fin de la pandémie avec un nombre de personnes non-touchées plus important. En association avec la réduction du nombre des hospitalisations, le principe de vague peut réduire considérablement les coûts des soins et la consommation des ressources médicales (notamment les médicaments).

Conclusion

Ce chapitre conclut la phase finale de notre projet. Nous avons présenté les technologies utilisées. Nos tests confirment l'adéquation de NetLogo et sa capacité à supporter la simulation conçue. Les résultats montrent aussi l'efficacité du principe des vagues suivi par les établissements d'enseignement supérieur à réduire la propagation de la pandémie Covid-19 et à alléger la charge sur le corps médical.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de notre projet était d'offrir un outil pour évaluer les différentes mesures de confinements adoptées par l'état algérien pour faire face à la pandémie CoVid-19, et d'évaluer l'efficacité des mesures du confinement imposées. Le projet trouve son importance dans la gravité de la pandémie et ses impacts néfastes sur plusieurs aspects de la vie humaine

Pour pouvoir mener à bien notre projet, nous avons effectué une étude théorique sur trois domaines. Premièrement, nous avons étudié la notion de la simulation et son domaine. Deuxièmement, nous sommes focalisés sur la simulation à base de systèmes multi agents. Finalement, nous avons abordés les différents enjeux liés à la pandémie Covid-19, ainsi que les mesures adoptées pour la contrer.

Les connaissances acquises nous ont permis de reprendre la problématique, de l'analyser et de prendre un ensemble de choix conceptuels et organisationnels pour diriger le projet. Ensuite, nous avons entamé la conception suivant le plan fixé et en appliquant les choix effectués.

Dans ce travail nous avons utilisé la méthode en cascade comme processus pour analyser la problématique, nous avons également utilisé lucidchart comme outil pour la conception. Nous nous sommes limités à la mesure « enseignement par vague »suivi par les universités pour limiter le contact des étudiants. Finalement, nous avons implémenté notre projet en utilisant Net-Logo comme logiciel pour le développement du projet.

En guise de conclusion, nous pouvons dire qu'il est possible d'évaluer les mesures du confinement, et dire est-ce qu'elles sont efficaces ou pas.

Comme perspective future, nous proposons de poursuivre l'évaluation des autres mesures du confinement liées à d'autres domaines d'activité. Nous proposons aussi de répondre cette modélisation et d'autres langages ou plateformes de simulation à base d'agents ; cela permettra d'évaluer Net-Logo et sa capacité à supporter la mise en œuvre d'outil d'aide à la décision.

BIBLIOGRAPHIE

Algérie, L. S. (06/2020). ANALYSE RAPIDE DE L'IMPACT SOCIO-ECONOMIQUE DU COVID-19 SUR L'ALGERIE.

Belattar. (2004). Simulation and modelisation. Université de Batna (Algérie).: département d'Informatique, faculté des sciences de l'ingénieur.

BENCHIKH AYMEN, B. H. (2019/2020). Prévalence des mesures de protection personnelle, des problèmes potentiels et des symptômes associés au COVID-19 pendant le confinement en Algérie. mémoire.

Bourebia. (January 2, 2021). Simulateur, émulation systèmes réseaux. university of jijel (algeria): département d'informatique faculté des science exactes et d'informatique.

Dillmann, W. a. (Jan. 1997). Simulation of jaw-movements for the musculoskeletal diagnoses. IN Medicine Meets Virtual Reality 5.

gouvernement, c. (2021, juin 17). gouvernement du canada. Retrieved from gouvernement du canada: https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/2019-nouveau-coronavirus/document-orientation/signes-symptomes-gravite.html

Hamadeh. (27 Octobre.). A. BOCAL ou la Boite comme Paradigme programmatique : Application a la Simulation de Systèmes Productifs. l'université Joseph Fourier - Grenoble I Laboratoire ARTEMIS: Thèse de doctorat.

HAMIDOUCHE, M. (21/04/2020). COVID-19 Epidemic in Algeria: Assessment of the implemented preventive strategy. Retrieved from https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.21.20074443v1.full.pdf+html

HORDE. (2021, mai 21). Porteur sain Covid (asymptomatique). le journal des femmes. Retrieved from https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-maladies/2625903-porteur-sain-covid-19-coronavirus-asymptomatique-definition-duree-isolement-anticorps-isolement-test/

KACI, S. (18/07/2020). L'EFFET DE LA PANDÉMIE DE COVID-19 SUR L'ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE EN ALGÉRIE.

Khaled Habas, C. N. (04/08/2020). Resolution of coronavirus disease 2019 (COVID-19). article. Retrieved from https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14787210.2020.1797487

Korichi. (2009). A. TCAO et Simulation : Vers une plate-forme d'analyse et de conception de systèmes de production orientée groupe. batna.185p: Thèse de doctorat de l'université el hadj lakhdar.

Kosmidou, Z. (n.d.). reference of business. Retrieved from reference of business: https://www.referenceforbusiness.com/

Lakhdar, K. M. (2019/2020). Le traitement médiatique du coronavirus dans la presse algérienne Quelle role pour la presse ? mémoire.

Mellit, A. (2021). Méthodologies d'Evaluation des Systèmes Informatiques. university of jijel (algeria): département d'informatique faculté des sciences exacte et informatique.

Modélisation et simulation de systèmes de production. (n.d.). GPA-662.

Müller, S. (1993). Adaptive generation of surfaces in volume data. The Visual Computer.

netlogo user manual. (n.d.). Retrieved from netlogo 4.0.4: https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/

POTEAU, P. (n.d.). la simulation. COURS DE THEORIE DE LA CIRCULATION.

Schaude. (n.d.). Documentation für KaVis. Institut für Prozeßrechentechnik und Robotik, Universität Karlsruhe.

TREUIL. (2008). MODELISATION ET SIMULATION A BASE D'AGENTS.

Weingärtner, S. (February 1998). Virtual Jaw: A 3D Simulation for Computer Assisted Surgery and Education.

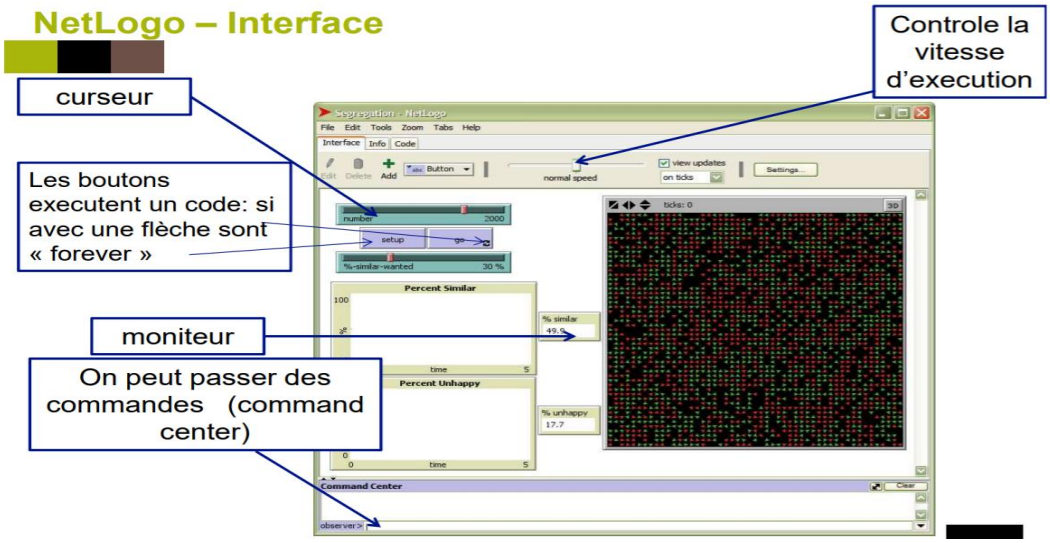
YuyiZhangMD. (09/2020). Observations about symptomatic and asymptomatic infections of 494 patients with COVID-19. American Journal of Infection Control. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/journal/american-journal-of-infection-control

ANNEXE 1 : PRESENTATION DU NET LOGO

Il existe trois onglets :

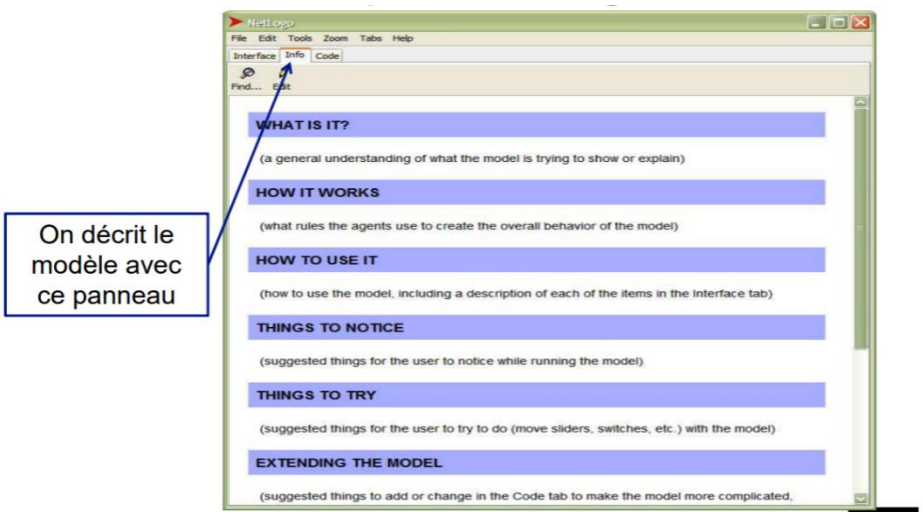
- Interface :

C'est la partie où on interagit avec le modèle fini. On peut y voir aussi l'évolution des agents et visualiser les données de la simulation. Il contient des boutons, des slider bars, switches, monitor boxes, ainsi que le "world" où évoluent les agents (grande fenêtre noire).



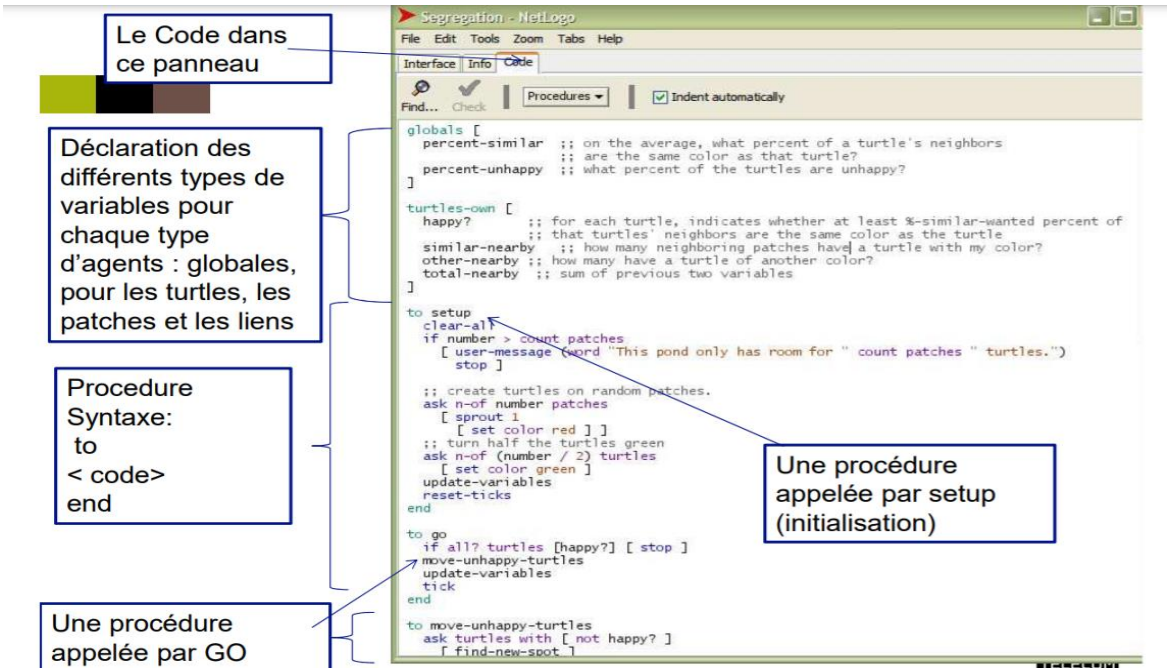
- Information :

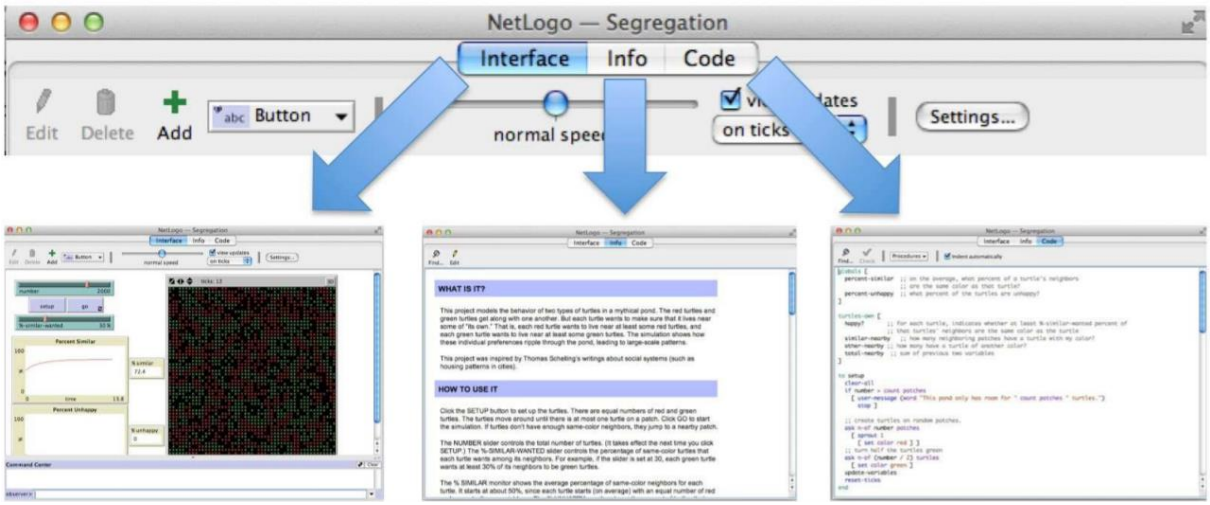
Contient l'information textuelle sur le modèle pour dire comment utiliser le programme, il donne une documentation du modèle.



- Procédures :

Il contient le code pour spécifier le comportement des agents. Il est constitué, tout comme un autre programme par une partie déclarative, un ensemble de procédures dont une spéciale que nous verrons après.




NetLogo — Segregation
Interface
Info
Code
Edit
Delete
Add
Button
Settings...
WHAT IS IT?
HOW TO USE IT

ANNEXE 2 : LES FONCTIONS LES PLUS COURANTS

Fonctions	**Objectifs**
Go ()	Pour ”boucler” forever sur l'exécution de la procédure. Vous pouvez régler la vitesse d'exécution de la simulation en ”jouant” sur le curseur qui se trouve en haut et au milieu de l'interface
If … ifelse	Si rapporte vrai alors les commandes sont exécutées, sinon les commandes ne sont pas exécutées ; Pour le premier booléen qui renvoie true, exécute les commandes qui suivent. Si aucun booléen ne rapporte vrai, exécute elsecommands ou ne fait rien si elsecommands n'est pas donné.
Set	Définit la variable à la valeur donnée, elle ne peut être utilisée que si la variable existe déjà. Il est souvent utile de définir des variables locales.
Crt (create-turtles)	Crée des nouvelles tortues à l'origine. Les nouvelles tortues ont des en-têtes entiers aléatoires et la couleur est choisie au hasard parmi les 14 couleurs primaires.
Ask	Pour donner des commandes aux tortues, aux patchs et aux liens. Tout le code à exécuter par les tortues doit être situé dans un « contexte » de tortue.
Clear-all	Commande observateur réinitialise toutes les variables globales à zéro.
Facexy	Réglez la direction de l'appelant vers le point (x, y).
Sprout	Crée nombre de nouvelles tortues sur le patch actuel.
Reset-ticks	Réinitialise le compteur de ticks à zéro.
Let	Créer une nouvelle variable locale et définit sa valeur initiale. Une variable locale est une variable qui n'existe que dans la procédure dans laquelle elle a été créée ou entre les crochets d'une instruction ask spécifique.

	Semblable à une variable globale, la valeur d'une variable locale est la même pour toutes les tortues.
Tick	Rapporte la valeur actuelle du compteur de ticks. Le résultat est toujours un nombre positif.