

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université A/Mira de Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique

MÉMOIRE DE MASTER RECHERCHE

En
Informatique

Option
Intelligence Artificielle

Thème

**Systeme Multi-Agents d'Aide à la Décision
pour la Gestion des Services Préhospitaliers
d'Urgence**

Présenté par:

M^{lle} ABDOUNE Katia

M^{lle} BOURIAHI Lamia

Soutenu le 26 octobre 2021 devant le jury composé de:

Présidente	Mme S.Boukerram	Maître Assi. A	U. A/Mira Béjaïa.
Examineur	Pr O. Lekadir	Professeur	U. A/Mira Béjaïa.
Encadrante	Dr K.Adel -Aissanou	Maître de conf. A	U. A/Mira Béjaïa.
Co-encadrante	Dr D.Boulahrouz	Maître de conf. A	U. A/Mira Béjaïa.

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de nous avoir accordé la puissance et la volonté pour achever ce travail.

*Nous tenons tout d'abord à exprimer de tout cœur nos sincères remerciements à notre encadrante **Dr. ADEL-AISSANOU Karima** ainsi qu'à notre co-encadrante **Dr. BOULAHROUZ Djamila** pour avoir bien voulu nous accompagner tout au long de la préparation de ce projet, pour les sages conseils et recommandations qui nous ont permis de réaliser ce modeste travail. Qu'elles trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.*

Nous adressons également nos sincères remerciements au personnel de l'hôpital de Kherrata (médecins, chef de service, infirmières et agents administratifs) qui ont eu la gentillesse de bien vouloir nous accorder de leur précieux temps pour participer dans la réalisation de ce travail en mettant à notre disposition leurs connaissances et leurs documents.

*Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département d'Informatique de l'université **ABDERRAHMANE MIRA de Bejaia**.*

Ainsi qu'à ceux et celles qui par, leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions durant la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

Dédicaces

On dédie ce modeste travail :

A nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous, Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts, vous nous avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute notre reconnaissance et tout notre amour.

A nos frères et nos sœurs pour leur encouragement ainsi qu'à nos meilleurs amis

A tous nos collègues de promotion avec qui nous avons passé notre meilleure année d'études.

A toutes celles et tous ceux qui nous ont aidé dans nos études. Tous ceux qu'on connaît et qu'on n'a pas pu citer.

Table des matières

Liste des abréviations	vii
Introduction générale	1
1 Présentation de l'organisme d'accueil et position du problème	4
1.1 Introduction	4
1.2 Historique de l'EPH (établissement public hospitalier) de Kherrata	5
1.3 Définition de l'établissement public hospitalier	5
1.3.1 Consistance physique de la structure hospitalière	6
1.3.2 Effectif du personnel	7
1.3.3 Ration de l'effectifs du personnel	8
1.4 Organigramme général de l'EPH de Kherrata	9
1.5 Mission de l'EPH de Kherrata	10
1.6 Organisation des Urgences au sein du l'EPH de Kherrata	10
1.6.1 Présentation des urgences	10
1.6.2 Les ressources et les moyens du service des urgences de l'hôpital de Kherrata	11
1.7 La surpopulation dans le service des urgences	12
1.7.1 Causes du surpeuplement des urgences	12
1.7.2 Effets du surpeuplement des urgences	13
1.7.3 D'autres problèmes liées aux urgences	14
1.8 Position du problème	14
1.9 Conclusion	15
2 Agents et Systèmes Multi-Agents	16
2.1 Introduction	16

2.2	Notion d'Agent	17
2.2.1	Définitions d'agent	17
2.2.2	Propriétés d'un Agent	17
2.2.3	Architectures d'Agent	18
2.3	Système Multi Agents (SMA)	21
2.3.1	Définition d'un Système Multi-agents	21
2.3.2	Caractéristiques des SMA	23
2.4	Interaction dans un Système Multi-Agents	23
2.5	Modélisation et Simulation basées Agents	25
2.5.1	Modélisation et Simulation à base d'Agents	26
2.5.2	Utilisation de la simulation à base d'agents pour la gestion des services hospitaliers	27
2.6	Conclusion	29
3	Modélisation : une approche basée agent pour un système d'aide à la gestion du service des urgences « Hôpital de Kher- rata »	30
3.1	Introduction	30
3.2	Techniques d'évaluation de performances	31
3.3	Modélisation organisationnelle	31
3.4	Flux des patients	32
3.5	Conception et modélisation des agents de la simulation	34
3.5.1	La modélisation de l'agent réceptionniste	34
3.5.2	La modélisation de l'agent médecin de consultation	35
3.5.3	La modélisation de l'agent patient	36
3.6	Modèle de file d'attente	37
3.6.1	Caractéristiques des modèles de file d'attente	38
3.6.2	Modélisation du service des urgences « Hôpital de Kherrata » par un système de files d'attente	38
3.7	Collecte de données	41
3.8	Conclusion	43
4	Evaluation et résultats	44
4.1	Introduction	44
4.2	La simulation à base d'agents des urgences	44
4.3	Développement et implémentation de notre modèle de simulation	45
4.3.1	Présentation de NetLogo	46
4.4	Paramètres initiaux et premiers résultats	47

4.5	Représentation 3D du modèle de la simulation	47
4.6	Indicateurs clés de performance	49
4.7	Amélioration de la performance du système	50
4.7.1	Méthodologie de prise de décision	50
4.7.2	Communication entre agents	50
4.7.3	Les scénarios proposés	50
4.8	Résultats de la simulation	51
4.8.1	La durée moyenne de séjour	51
4.8.2	Le nombre moyen des évacuations	53
4.8.3	Une étude comparative	55
4.9	Conclusion	57
	Conclusion générale	58
	Bibliographie	60

Table des figures

1.1	Organigramme général de l'EPH de Kherrata.	9
1.2	Surpeuplement dans les services des urgences.	14
2.1	Architecture d'un agent cognitif.	19
2.2	Architecture d'un agent réactif.	20
2.3	Représentation d'un agent en interaction avec son environnement et les autres agents.	22
3.1	Diagramme de flux des patients du service des urgences de l'hôpital de Kherrata.	33
3.2	Processus détaillé de flux des patients du service des urgences de l'hôpital de Kherrata.	34
3.3	Comportement et les activités de la réceptionniste.	35
3.4	Comportement et les activités du médecin de consultation.	36
3.5	Niveaux d'acuité des patients.	37
3.6	Modèle de files d'attente des urgences de l'hôpital de Kherrata.	41
3.7	les données collectées et les résultats obtenus sur les différents taux d'arrivées.	42
3.8	Les résultats obtenus sur les taux de services des différentes zones.	43
4.1	Présentation du système de simulation.	46
4.2	Curseurs NetLogo pour la création de patches d'agents individuels.	47
4.3	Résultats de la simulation en 3D.	49
4.4	La durée moyenne de séjour (03 lits et 02 médecins).	52
4.5	La durée moyenne de séjour (03 lits et 03 médecins).	52
4.6	La durée moyenne de séjour (04 lits et 03 médecins).	53
4.7	Nombre moyen des évacuations (03 lits et 02 médecins).	54

4.8	Nombre moyen des évacuations (04 lits et 02 médecins)	54
4.9	Nombre moyen des évacuations (04 lits et 03 médecins). . . .	55
4.10	Résultats des scénarios proposés : durée moyenne de séjour. . .	56
4.11	Résultats des scénarios proposés : nombre moyen des évacua- tions.	56

Liste des tableaux

1.1	Consistance physique de la structure hospitalière.	7
1.2	Effectif du personnel.	8
1.3	Ration de l'effectifs du personnel.	8
2.1	Comparaison entre agents cognitifs et agents réactifs.	21

Liste des abréviations

EPH	Etablissement Public Hospitalier.
I.S.P	Infirmier de Santé Publique.
A.M.A.R	Auxiliaire Médical Anesthésie et Réanimation.
M.I.M.S.P	Manipulateur Imagerie Médicale de Santé Publique.
I.B	Infirmier Breveté.
A.T.S	Administratif Technique Service.
I.S.S.P	Infirmier Spécialisé de Santé Publique.
S.U	Service des Urgences.
IAD	Intelligence Artificielle Distribuée.
SMA	Système Multi Agents.
ABM&S	Modélisation et Simulation à Base d'Agents.
DES	Simulation à Evénements Discrets.
SD	Dynamique des Systèmes.
FCFS	First Come First Serve.

Introduction générale

Le système de santé est l'un des systèmes le plus important de la civilisation moderne. Dans les systèmes de santé les services des urgences sont les plus complexes. Ils fonctionnent 24 heures sur 24, 7 jours sur 7. Ils font l'objet d'une demande croissante et sont généralement surchargés, leurs activités sont pas linéaires, elles varient continuellement. Les patients arrivent selon un processus stochastique aux urgences avec différents problèmes de santé et différents niveaux de gravité. Donc, certaines décisions vitales doivent être prises avec précision pour éviter de perdre du temps et aussi de fournir un mauvais traitement aux patients.

Les services des urgences souffrent souvent de la surpopulation, qui entraîne la dégradation des conditions de travail, les temps d'attente et de séjour qui s'allongent et le risque de détérioration de l'état de santé des patients s'accroît. Ceci provoque la baisse de la qualité des soins, l'insatisfaction des usagers des urgences et l'inquiétude des décideurs face à cette situation critique. Dans ce cas, les administrateurs des établissements de santé doivent prendre des décisions qui vont leur permettre de mieux gérer leurs services. Il n'existe pas de modèle standard pour aider à organiser les performances de leurs systèmes. En effet, vu la sensibilité des services des urgences, il n'est pas possible d'utiliser des méthodes d'essai.

L'établissement public hospitalier de Kherrata est situé au Sud–Est de la Wilaya de Bejaia. Il est situé entre 02 pôles urbains, Bejaïa et Sétif. Les urgences de Kherrata reçoivent de nombreux patients par jour, le personnel des urgences fait tous pour répondre aux exigences de ces patients, mais parfois sa devient difficile à cause de la surcharge des urgences.

Ces dernières années, les méthodes de la modélisation et la simulation à bases d'agents ont démontré une grande efficacité dans la modélisation des systèmes complexes. En effet, les agents étant dotés de capacités de raison-

nement et de communication peuvent à la fois, rendre automatique la prise de décision. A cet effet, nous optons pour une modélisation et simulation à base d'agents (ABM&S) qui est une approche qui peut apporter une aide précieuse dans le processus décisionnel, stratégique et tactique lors de la modélisation et la conception des systèmes complexes. Elle est utilisée dans un large éventail de domaines tels que la santé, la sociologie etc.

Cette approche peut devenir la principale technique pour organiser les urgences sans perturber sa routine. Elle comprend la modélisation pour aider les organisations à décrire, analyser, tester et optimiser les performances du système. En comparant les indicateurs de processus réels et simulés. Elle offre la capacité de contrôler et de modifier facilement le comportement individuel.

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur la conception et le développement d'un système d'aide à la décision en utilisant la modélisation et de la simulation basés sur les agents afin d'aider les chefs et les professionnels des services des urgences à organiser les urgences ainsi qu'améliorer la qualité et l'efficacité du système hospitalier.

Organisation du mémoire

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

- Dans le **premier chapitre**, nous allons d'abord présenter notre organisme d'accueil qui est l'établissement public hospitalier de Kherrata, puis nous allons mettre l'accent sur le service des urgences de cette hôpital.
- **Le deuxième chapitre** aborde, en premier lieu, les systèmes multi-agents, et leurs concepts de base. En deuxième lieu, nous allons présenter les principaux concepts liés à la modélisation et la simulation multi-agent (ABM&S).
- **Le troisième chapitre**, présente notre modélisation basée sur l'approche de la théorie du file d'attente et la simulation à base d'agents pour la gestion du service des urgences de l'hôpital de Kherrata. Nous illustrons, également, les différents schémas correspondant à notre modélisation.
- **Le dernier chapitre** est consacré à la présentation du système d'aide à la décision pour la gestion des urgences proposé ainsi que l'environnement de son développement. Des scénarios de problème décisionnel sont présentés et discutés dans ce chapitre.

Enfin, nous terminons ce mémoire de fin de cycle par une conclusion générale sur ce qui a été entrepris et nous tracerons les perspectives d'études envisagées à notre approche.

Chapitre 1

Présentation de l'organisme d'accueil et position du problème

1.1 Introduction

Les hôpitaux sont constitués de plusieurs unités de soins complexes et indépendantes. Parmi ces unités on trouve les services des urgences médicales.

Les services des urgences sont des systèmes très dynamiques et complexes qui jouent un rôle vital dans tout système de santé. Ils reçoivent d'une manière inattendue et imprévue des patients sans rendez-vous préalable. Ils accueillent tout le monde, en leur garantissant égalité de traitement. Le flux des patients varie durant toute l'année et dépendent de nombreuses circonstances (accidents, catastrophes, incendies etc.).

L'encombrement des structures des urgences est un problème chronique pour la qualité du service qui touche généralement tous les hôpitaux. Ces problèmes sont généralement causés par l'augmentation de nombre de patients en attente pour être pris en charge, aux retards liés aux traitements des patients déjà admis etc. Les conséquences pour les patients sont nombreuses : temps d'attente long, risque d'erreurs et diminution des chances de rétablissement pour certains patients.

Donc, les gestionnaires et le personnel des urgences doivent faire face à ces problèmes et fournir des soins rapides et appropriés à tous les patients présents dans le service.

Dans ce chapitre, nous allons en premier lieu présenter l'hôpital de Kherrata. En deuxième lieu, nous allons parler sur l'organisation du service des urgences. Enfin, nous allons exposer notre problématique.

1.2 Historique de l'EPH (établissement public hospitalier) de Kherrata

L'établissement public hospitalier de Kherrata, crée sur décret exécutif N° 07-140.Du 02 Joumada el Aoula 1428 correspondant au 19 Mai 2007. Portant création, organisation et fonctionnement des établissements publics hospitaliers et établissements de santé de proximité, bâtit sur le nom de CHAHID « MOHAMED ARAB HANOSE » tombé aux champs d'honneur le 08 Mai 1945 à kherrata.

Il est situé au sud est de la wilaya de Béjaia, il couvre deux (02) daïra (kherrata et darguina), et compte six (06) communes (kherata, draa el gaid, taskriout, ait smail, darguina et tamridjt) et couvre une population de 131000 habitants pour la superficie de 485,54 km^2 recensée en 2002.

De part sa situation stratégique (situé entre deux pôles urbains sétif et béjaia) avec un axe routier important et dangereux tunnel à grand risque qui relie le port de béjaia vers les autres plateaux.

L'EPH de Kherrata assure la couverture sanitaire non seulement de sa population locale mais aussi des populations des communes avoisinantes appartenant aux wilayas limitrophes (souk el tenine, melbou, ziama, aokas, bougaa, bouandas, tala ifecene, tizi n'bechar, ouad Bared, ain roua, etc.).

1.3 Définition de l'établissement public hospitalier

Un établissement public hospitalier est un établissement public à caractère administratif doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il est placé sous tutelle du ministère de la santé.

L'établissement public hospitalier constitué d'une structure de diagnostic de soins d'hospitalisation et de réadaptation médicale couvrant la population d'une ou d'un ensemble de communes.

1.3.1 Consistance physique de la structure hospitalière

En exécution de l'arrêté ministériel n°2738 du 26 janvier 2008, portant création des services et unités constitutives. L'établissement public hospitalier de kherrata est composé des services hospitaliers, répartis comme le montre le tableau 1.1.

N°	Services	Lits Techniques	Unités	Lits Organisés
01	Chirurgie général	24	1- Hospitalisation homme 2- Hospitalisation femme	12 12
02	Médecine interne	52	1- Hospitalisation homme 2- Hospitalisation femme	26 26
03	Gynéco-obstétrique	24	1- Gynécologie 2- Obstétrique	24
04	Pédiatrie	16	1- Pédiatrie 2- Néonatalogie	10 06
05	Urgences médico-chirurgicales	20	1- Accueil tri et mis en observation 2- Réanimation	10 10
06	Hémodialyse	12		12
07	Epidémiologie		1- Information sanitaire 2- Hygiène hospitalière	
08	Radiologie central		1- Radiologie 2- Echographie	

09	Laboratoire central		1- Microbiologie 2- Biochimie	
10	Pharmacie		1- Gestion des produits pharmaceutiques 2- Distribution des produits pharmaceutiques	
11	Médecine de travail		1- Surveillance médicale des personnels de santé 2- Examen périodique de santé de travail	
Total	11 services	146	20 unités	146

TABLE 1.1 – Consistance physique de la structure hospitalière.

1.3.2 Effectif du personnel

N°	Spécialité	Nombre
01	Médecins spécialistes	16
	Chirurgiens généralistes	05
	Orthopédistes	02
	Gynécologue	02
	Parasitologie-Mycologie	01
	Biochimiste	01
	Hématologue	02
	Maladies Infectieuse	01
	Médecine légale	01
	Radiologue	01

02	Médecins généralistes	29
03	Infirmier de Santé Publique(I.S.P)	70
04	Sages-femmes	19
05	Auxiliaire Médical Anesthésie et Réanimation (A.M.A.R)	10
06	Manipulateur Imagerie Médicale de Santé Publique (M.I.M.S.P)	15
07	Infirmier Breveté (I.B)	15
08	Administratif Technique Service(A.T.S)	19
09	I.S.S.P(Infirmier spécialisé de Santé Publique)	43

TABLE 1.2 – Effectif du personnel.

1.3.3 Ration de l'effectifs du personnel

Estimation population	Désignation	Effectif total	Ration
131000 Habitants	Médecins Spécialistes	16	Soit 1/5240 habitants
	Médecins Généralistes	29	Soit 1/4678 habitants
	I.S.P « soins généreux »	70	Soit 1/1723 habitants
	A.M.A.R	10	Soit 1/14555 habitants
	« sage-femme »	19	Soit 1/7277 habitants
	I.B	15	Soit 1/3540 habitants
	A.T.S	19	Soit 1/5954 habitants

TABLE 1.3 – Ration de l'effectifs du personnel.

1.4 Organigramme général de l'EPH de Kherrata

L'organigramme général de notre organisme d'accueil l'EPH de Kherrata est illustré dans la figure 1.1 :

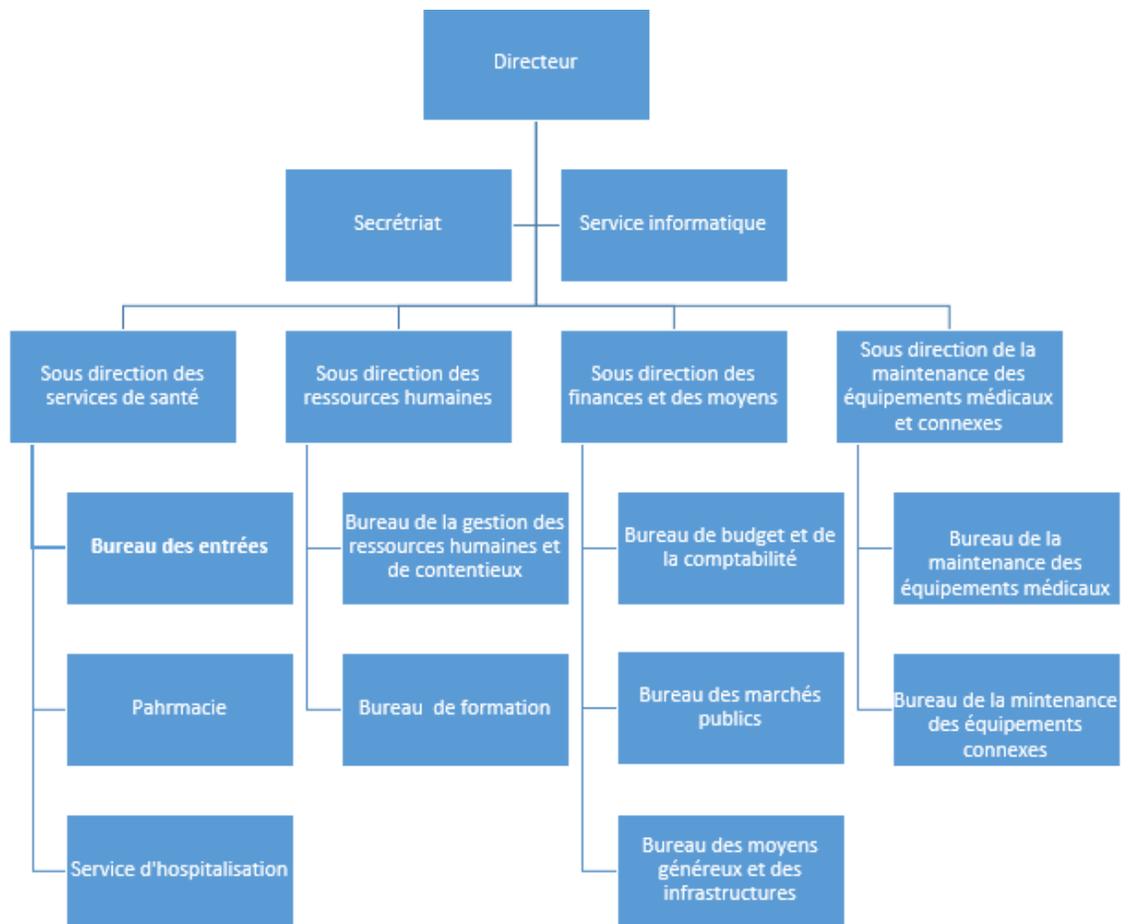


FIGURE 1.1 – Organigramme général de l'EPH de Kherrata.

1.5 Mission de l'EPH de Kherrata

- Assurer l'organisation et la programmation de la distribution des soins curatifs, de diagnostic.
- Mettre en œuvre les activités de prévention, de soins, de réadaptation médicale et d'hospitalisation.
- Assurer les activités liées à la santé reproductive et à la planification familiale.
- Appliquer les programmes nationaux et locaux de santé de la population.
- Assurer l'hygiène, la salubrité et la lutte contre les nuisances et les fléaux sociaux.
- Contribuer au recyclage et au perfectionnement du personnel des services de la santé.
- Art. 5. L'établissement public hospitalier peut servir de terrain de formation médicale et paramédicale et en gestion hospitalière sur la base de conventions signées avec les établissements de formation.

1.6 Organisation des Urgences au sein du l'EPH de Kherrata

Le service des urgences est facilement identifiable à l'extérieur de l'établissement. Le patient peut accéder de la porte principale de l'hôpital par un circuit dédié. Son entrée est la même que celle des services médicaux de l'hôpital, il y'a un poste de surveillance avec des caméras à sa droite et un poste du police à sa gauche. Il est implanté à proximité de la radio, du laboratoire, de la pharmacie ainsi que du la morgue.

1.6.1 Présentation des urgences

Le service des urgences (SU) de l'hôpital de Kherrata est ouvert 24/24, sept jours par semaines. Le SU de Kherrata est composé essentiellement de :

- **L'unité d'accueil** : est constituée d'un bureau d'accueil, de deux salles d'attente (femmes et hommes) pour les patients.
- **L'unité de diagnostic et soins** : est composée de deux cabinets médicaux équipées pour effectuer des consultations et d'une salle d'échographie. Il y'a aussi une salle de soins utilisée pour les injections, le

nettoyage, la suture des plaies, les bandages et les plâtres etc.

- **L'unité d'observation** : qui est composée essentiellement des lits d'hospitalisation. Elle est dédiée pour les patients qui ont besoin soit d'une surveillance avant leur libération , soit pour stabiliser leur état de santé avant une hospitalisation dans un secteur de soins plus conventionnel.

Cette zone est composée d'une salle avec une capacité de 5 lits, doté d'équipements adéquats (respirateur, oxygène) ainsi qu'un électrocardiogramme (ECG), qui consiste à donner le tracé de l'activité cardiaque.

- **La zone de réanimation** : se compose de 3 lits avec un chariot d'urgence. Il y'a aussi une salle de repos pour les médecins et les infirmiers.

1.6.2 Les ressources et les moyens du service des urgences de l'hôpital de Kherrata

Afin de fournir les soins pour tous les patients arrivant au service des urgences, différents moyens humains et matériels sont mobilisés. Ces moyens sont les suivants :

Les ressources humaines et les équipes du service des urgences

Les équipes sont réparties sur la journée en deux équipes : une équipe du matin (de 7h00 à 16h00), une équipe du soir (de 18h00 à 8h00) et la période entre 16h et 18h00 les deux équipes travaillent ensemble. Chaque équipe est composé de :

- 02 médecins : réparties entre les salles de consultation, parmi ces deux médecins y'a un médecin chef.
- 04 infirmiers : réparties entre la salle d'observation , la salle de réanimation et la salle des soins.
- Un chef de service : qui pilote les opérations depuis son bureau et se déplace dans le service si nécessaire.

Les ambulances

L'hôpital de Kherrata a cinq ambulances. Chaque ambulance est conduite par un chauffeur et comporte un accompagnateur qui peut être soit un infir-

mier, un médecin ou bien les deux.

1.7 La surpopulation dans le service des urgences

Le surpeuplement des services des urgences est perçu comme un problème fréquent et important dans de nombreux établissements sanitaires. Parmi ces établissements on trouve l'hôpital de Kherrata, qui a connu au fil des années une augmentation du nombre de patients qui se présente aux urgences ainsi que le nombre d'accidents à cause du tunnel de Kherrata qui se situe à quelques mètres de l'hôpital, ce qui cause le problème de surpopulation du service des urgences.

L'encombrement des services des urgences est défini comme étant : « une situation dans laquelle la demande de services dépasse la capacité de fournir des soins dans un temps raisonnable, ce qui rend les médecins et les infirmières (le personnel des urgences en général) incapables de fournir des soins de qualité » [16].

Nous pouvons mesurer la surpopulation en surveillant les temps d'attente et de séjour des patients pour recevoir un service de santé.

1.7.1 Causes du surpeuplement des urgences

Le surpeuplement des urgences de l'hôpital de kherrata est un problème complexe et multifactoriel. Parmi les principaux facteurs qui peuvent causer ce problème critique, on trouve :

- L'augmentation du nombre des patients qui se présentent au service des urgences.
- L'augmentation de la gravité des maladies causé par la propagation de la pandémie de coronavirus.
- Le manque d'effectif dans le service des urgences et la configuration inadéquate de ce dernier.
- L'augmentation de nombres d'accidents à cause du tunnel de Kher-rata, connu pour son trafic élevé.
- L'occupation des lits du service des urgences par des patients admis, qui attendent d'être traités ou bien transférés du service vers des unités d'hospitalisation. Ce qui limitent la capacité du service des urgences à accepter les nouveaux arrivants.

1.7.2 Effets du surpeuplement des urgences

La surpopulation des services des urgences est un environnement qui peut causer des effets graves :

- **Soins inadéquats et erreurs médicales** : quand les médecins et les infirmières se sentent pressés et surchargés à cause d'un service des urgences surpeuplé, le risque des erreurs médicales augmente ainsi que l'intensité de la prise de décision. Donc, ces erreurs pourraient conduire à l'augmentation du taux de mortalité des patients ainsi l'insécurité des patients à cause des résultats défavorables et indésirables.
- **Temps d'attente long et insatisfaction du patient** : l'insatisfaction des patients à cause de l'augmentation des temps d'attentes ainsi que la durée de séjour, ce qui pousse un grand nombre de patients non traités à quitter les urgences.
- **Propagation des maladies infectieuses et saisonnières** : l'augmentation des patients qui se présentent au service des urgences cause la croissance des risques de propagation des maladies infectieuses et saisonnières. Par conséquent, dépassement des capacités du personnel des urgences afin de contrôler ces épidémies.

La figure 1.2 [14] résume les causes et les effets du surpeuplement dans les services des urgences.

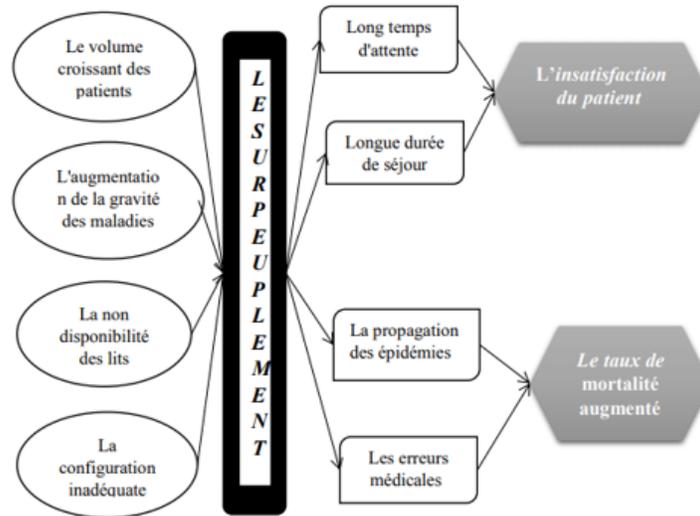


FIGURE 1.2 – Surpeuplement dans les services des urgences.

1.7.3 D'autres problèmes liées aux urgences

En plus des problèmes liés à la surpopulation des urgences, on trouve :

- Les erreurs de triage commis par la réceptionniste qui classe les patients dans la mauvaise catégorie.
- Manque d'effectif du personnel à cause du budget limité et d'espace.

1.8 Position du problème

Dans ce mémoire, nous allons proposer un système d'aide à la décision pour le service des urgences de l'hôpital de kherrata. Nous avons opté pour une modélisation et simulation à base d'agents (ABM&S).

Nous allons procéder en deux étapes :

- _ Modéliser la situation actuelle du fonctionnement du service des urgences.
- _ Proposer des solutions pour l'aide à la décision en cas de pré-saturation ou de saturation des urgences.

1.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre organisme d'accueil qui est l'hôpital de kherrata, puis nous avons parlé sur l'organisation des urgences, ainsi que la position du problème, à traiter dans ce mémoire.

Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter les systèmes multi-agents ainsi que la modélisation et la simulation à base d'agents.

Chapitre 2

Agents et Systèmes Multi-Agents

2.1 Introduction

Les Systèmes Multi-Agents (SMA) sont des systèmes informatiques distribués issus du domaine de l'intelligence artificielle distribuée (IAD). Ils sont à la connexion de plusieurs domaines en particulier de l'intelligence artificielle, des systèmes informatiques distribués et du génie logiciel. Ils se composent d'un ensemble d'agents dotés d'un comportement intelligent qui interagissent entre eux ou avec l'environnement pour réaliser leurs buts ou un but global.

L'utilisation des systèmes multi-agents pour la modélisation et la simulation a montré une grande efficacité dans de nombreux domaines scientifiques, plus particulièrement dans les systèmes dynamiques et complexes. Ils se basent sur la distribution de la connaissance et des compétences sur un ensemble d'entités autonomes dont les actions exécutées vont modifier l'environnement des agents, ce qui influence sur le processus de prise de décision. Les modèles multi-agents obtenus représentent de manière fidèle les systèmes réels ce qui dénote un de leurs multiples avantages précieux.

Dans ce chapitre, nous allons présenter, dans une première partie, les notions d'agents et des systèmes multi-agents, et dans la seconde partie, nous exposerons la modélisation et la simulation à base d'agents.

2.2 Notion d'Agent

Dans cette section, nous allons nous concentrer sur le concept d'agent qui représente la brique fondamentale de tout SMA.

2.2.1 Définitions d'agent

Etymologiquement, le mot agent est inspiré du latin "agere" qui signifie agir, donc littéralement, un agent est une entité qui agit [1].

La notion d'agent est issue de différents domaines. Il n'existe pas encore une définition acceptée à l'unanimité. En effet, plusieurs travaux ont porté sur la notion d'agent engendrant des définitions variées et riches, selon le type d'application pour laquelle il a été conçu.

D'après la définition de Ferber [9] : « *On appelle un agent une entité informatique qui est capable d'agir dans son environnement, peut communiquer directement avec d'autres agents, est mue par un ensemble d'objectifs qu'il cherche à réaliser, possède des ressources propres, est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement, ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement, à un comportement tendant à satisfaire ses objectifs, en tenant compte d'une part des ressources et des compétences dont il dispose, et d'autre part de ses propres représentations et des communications qu'il reçoit* ».

Nous citons également la définition proposée par Wooldridge, Jennings et Sycara [10] : « *Un agent est un système informatique, situé dans un environnement, et qui agit d'une façon autonome pour atteindre les objectifs (buts) pour lesquels il a été conçu* ».

2.2.2 Propriétés d'un Agent

De l'ensemble des définitions précédentes, nous dégagons les propriétés suivantes communément admises pour un agent :

- **L'autonomie** : L'agent est capable d'agir sans l'intervention directe d'un tiers (humain ou autre agent) et contrôle ses propres actions ainsi que son état interne. En d'autres termes, un agent est dit autonome

dans le sens où le créateur du système ne pilote pas son comportement, et dont la prise de décision sur son comportement est uniquement en fonction de ses perceptions, ses connaissances et sa représentation du monde.

- **La réactivité** : l'agent est capable de percevoir les changements dans son environnement, et doit élaborer une réponse dans les temps requis.
- **La proactivité** : l'agent adopte un comportement proactif et opportuniste, c'est-à-dire qu'il n'agit pas uniquement en réponse à son environnement mais, il est également capable de prendre des initiatives au "bon" moment.
- **La sociabilité** : l'agent est capable d'interagir avec les autres agents (logiciels et humains) via un langage de communication d'agent quand la situation l'exige afin de compléter ses tâches ou aider les autres agents à accomplir les leurs.

D'autres caractéristiques qu'un agent doit posséder pour qu'il puisse être qualifié d'agent intelligent sont :

- **La rationalité** : Les agents rationnels disposent de critères d'évaluation de leurs actions, et sélectionnent selon ces critères les meilleures actions qui leurs permettent d'atteindre le but en maximisant leurs performances (c'est-à-dire un agent qui est capable d'effectuer les bonnes actions au bon moment).
- **L'apprentissage** : Un agent apprenant apprend de ses expériences passées. Il peut ainsi agir dans des environnements inconnus et devenir meilleur avec le temps. C'est un agent adaptatif qui adapte son comportement en réponse aux éventuels changements de l'environnement où il est situé.
- **La mobilité** : l'agent peut être multi-plateformes et multi-architectures, il peut se déplacer sur le réseau de son environnement d'une machine à une autre et éventuellement se dupliquer sans l'intervention de l'utilisateur.

2.2.3 Architectures d'Agent

D'après Ferber [9], les systèmes complexes sont composés de nombreux individus et entités, chacun d'eux est caractérisé principalement par son architecture, son comportement et son degré de raisonnement.

Selon les architectures et les capacités de raisonnement, les agents sont classés

en plusieurs types qui les qualifient de cognitifs, réactifs et hybrides.

a. Agents Cognitifs

Il est appelé aussi agent délibératif. il est doté de capacités de raisonnement importantes et disposant d'une représentation de son environnement. Un agent cognitif est muni d'une base de connaissances comprenant un ensemble d'informations et des savoir-faire nécessaires à la réalisation de sa tâche ainsi qu'à la gestion des interactions avec les autres agents et avec son environnement.

On peut présenter l'architecture Cognitive par la figure 2.1 [14] :

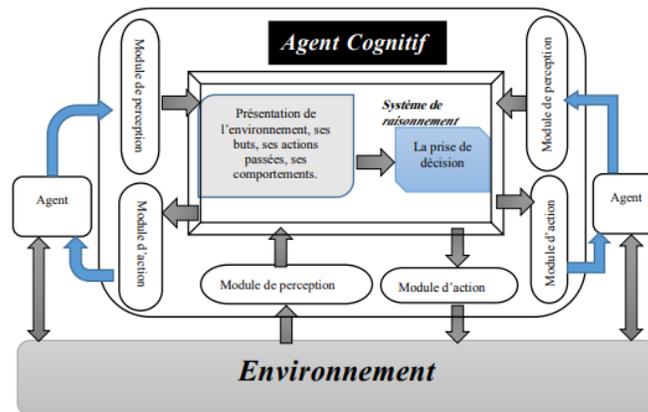


FIGURE 2.1 – Architecture d'un agent cognitif.

L'une des architectures cognitives les plus connues est l'architecture BDI (Beliefs, Desires, Intentions) qui signifie «croyances, désirs, intentions». Les agents BDI se basent alors sur ces trois aspects pour choisir leurs actions :

- **Les croyances** : correspondent aux informations dont dispose l'agent sur son environnement et sur les autres agents qui agissent sur le même environnement. Les croyances peuvent être incorrectes, incomplètes ou incertaines et, à cause de cela, elles sont différentes des connaissances de l'agent, qui sont des informations toujours vraies.
- **Les désirs** : correspondent aux états de l'environnement que l'agent souhaiterait voir réalisés. Ce sont les objectifs que fixe un agent.

- **Les intentions** : correspondent aux projets de l'agent pour satisfaire ses désirs.

b. Agents Réactifs

Contrairement à l'agent cognitif, un agent réactif ne fait que réagir aux changements qui surviennent dans l'environnement d'une façon très rapide. Les agents réactifs sont les plus faciles à concevoir, puisqu'ils sont des agents sans intelligence (sans buts, sans mémoire, etc.) mais leurs interactions permettent l'émergence d'une intelligence collective, avec un fonctionnement basé sur une simple correspondance entre les situations et les actions. L'architecture réactive peut être présentée par la figure 2.2 [14] :

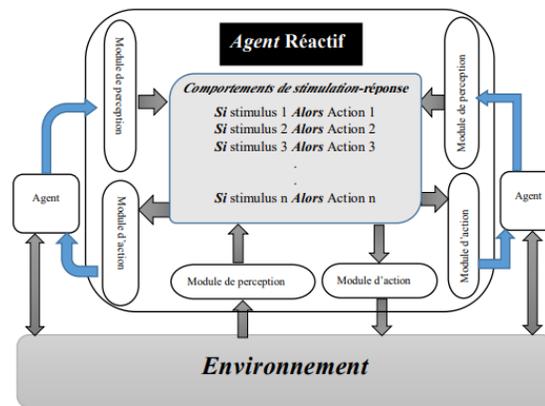


FIGURE 2.2 – Architecture d'un agent réactif.

Comparaison entre agents cognitifs et agents réactifs

Nous résumons les différences entre les agents cognitifs et réactifs dans le Tableau 2.1 [17].

Systèmes d’agents cognitifs	Systèmes d’agents réactifs
Représentation explicite de l’environnement	Pas de représentation explicite
Peuvent tenir compte de leurs passé	Ne tiennent pas compte du passé (pas de mémoire dans son historique)
Agents exécutant des tâches complexes	Fonctionnement stimulus/reponse
Peu d’agents (petit nombre)	Grand nombre d’agents

TABLE 2.1 – Comparaison entre agents cognitifs et agents réactifs.

c. Agents Hybrides

Un agent hybride peut être vu comme un compromis entre un agent cognitif avec représentation symbolique des connaissances et capacité de raisonnement et un agent réactif avec ce réflexe rapide. De cette manière, on combine le comportement proactif de l’agent, dirigé par les buts, avec un comportement réactif aux changements de l’environnement. Ce qui va permettre d’obtenir simultanément les avantages des architectures cognitives et réactives, tout en éliminant leurs limitations.

2.3 Système Multi Agents (SMA)

Dans cette section, nous allons nous intéresser aux ensembles d’agents en tant que système complet appelé communément les systèmes multi-agents (SMA).

2.3.1 Définition d’un Système Multi-agents

Habituellement, un système est un ensemble organisé d’éléments concourant à la réalisation d’une tâche donnée. En suivant cette définition on peut définir simplement le système Multi-Agents (SMA) comme étant un ensemble organisé d’agents homogènes et hétérogènes qui peuvent coopérer, négocier et communiquer pour réaliser un but commun ou distinct. Dans un SMA, l’intelligence individuelle n’est pas nécessaire pour parvenir à un comportement global intelligent qui émerge à partir de l’interaction entre les agents composant le système.

Dans un SMA, tout est distribué : le contrôle, la connaissance, les compétences etc. De ce fait, les SMA s'adaptent bien aux systèmes complexes et ouverts où il est difficile de tout décrire à l'avance.

Ferber [8] le définit d'une façon plus détaillée comme étant un système composé de :

- _ Un environnement **E** : c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
- _ Un ensemble d'objets **O** : situés dans cet environnement. Ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être créés, détruits, manipulés et perçus par les agents.
- _ Un ensemble d'agents **A** : ce sont des objets particuliers, ils représentent les entités actives du système.
- _ Un ensemble de relation **R** : qui unissent les objets entre eux.
- _ Un ensemble d'opérations **Op** : ou de compétences offrant la possibilité aux agents de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des lois de l'environnement.
- _ Un ensemble d'**opérateurs** : chargés de représenter l'application des actions des agents sur le monde et la réaction de ce monde par rapport à ces actions, que l'on appellera « les lois de l'univers ».

La figure 2.3 [19] illustre l'interaction d'un agent avec son environnement.

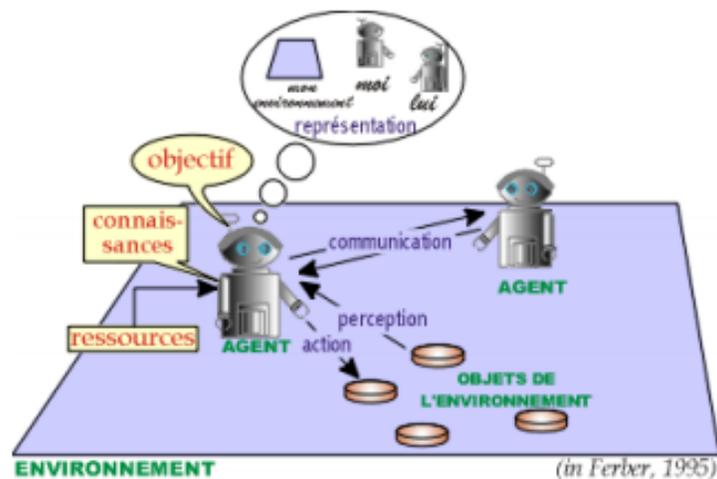


FIGURE 2.3 – Représentation d'un agent en interaction avec son environnement et les autres agents.

Pour faire simple et selon Demazeau [25] un SMA = Agent + Environnement + Interaction + Organisation.

2.3.2 Caractéristiques des SMA

D'après Demazeau [25] un SMA est généralement caractérisé par :

- Chaque agent a des informations ou des capacités de résolution de problèmes limités (ainsi, chaque agent a un point de vue partiel, compétences restreintes).
- Il n'y a aucun contrôle global du système multi-agents.
- Les données sont décentralisées.
- Le calcul est asynchrone.
- Un SMA peut-être [6] :
 - **Ouvert** : les agents y entrent et en sortent librement (ex : un café).
 - **Fermé** : l'ensemble d'agents reste le même (ex : un match de football).
 - **Homogène** : tous les agents sont construits sur le même modèle (ex : une colonie de fourmis).
 - **Hétérogène** : des agents de modèles différents, de granularité différentes (ex : l'organisation hospitalière, entreprise... etc.).

2.4 Interaction dans un Système Multi-Agents

Comme nous l'avons déjà mentionné, un SMA est une collection d'agents indépendants qui interagissent en vue de réaliser conjointement une tâche donnée ou d'atteindre un but particulier par la transmission d'informations. Ainsi, la cohérence du système et son intelligence ne viennent pas de l'intelligence de ses agents, mais de leurs interactions.

C'est grâce à l'interaction que le SMA est vu comme un tout et non pas comme un ensemble d'entités indépendantes. Pour communiquer entre eux, les agents doivent suivre un protocole d'interaction qui spécifie des règles qui doivent être respectées par les agents durant une conversation. Il définit ainsi pour chaque étape les types de messages qui peuvent être envoyés. Les interactions sont variées et différentes selon le type d'agent et d'organisation. Nous pouvons trouver des interactions de coopération, de coordination, de négociation, etc.

L'interaction peut être décomposée en trois phases non nécessairement séquentielles :

- La réception d'informations ou la perception d'un changement.
- Le raisonnement sur les autres agents à partir des informations acquises.
- Une émission de message(s) ou plusieurs actions (plan d'actions) modifiant l'environnement. Cette phase est le résultat d'un raisonnement de l'agent sur son propre savoir et celui des autres agents [20].

Il existe plusieurs formes d'interaction comme :

- **La coopération** : il existe des situations où les capacités et les compétences d'un agent ne suffisent pas à accomplir certaines tâches. La coopération consiste, donc, à la décomposition du problème en tâches affectées aux agents qui travaillent ensemble pour la réalisation d'un but commun. Ce type d'interaction apparaît lorsque les actions de chaque agent satisfont au moins l'une des conditions suivantes :
 - a) Les agents ont un but en commun et leurs actions tendent à réaliser ce but.
 - b) Les agents effectuent les actions qui réalisent non seulement leurs propres buts mais aussi ceux des autres.
- **La coordination** : c'est l'organisation des actions entre les différents agents pour atteindre un but collectif. La coordination est nécessaire :
 - _ lorsque les agents ont besoin d'informations et de résultats que d'autres agents peuvent fournir.
 - _ lorsque les ressources communes sont limitées.
 - _ pour éviter des actions inutiles.
 - _ pour permettre aux agents de satisfaire des objectifs dépendants.
- **La négociation** : c'est quand les agents interagissent pour résoudre des conflits entre eux.
D'un autre terme, c'est une interaction entre agents basée sur la communication avec le but de parvenir à un accord acceptable pour toutes les parties concernées et limiter les effets des conflits de croyances ou de buts.

Les différents protocoles d'interaction sont exécutés grâce à la communication, qui est une forme d'action particulière qui, au lieu de s'appliquer à la transformation de l'environnement, tend à une modification de l'état mental du destinataire.

On distingue deux modes d'interaction :

- **L'interaction directe (Agent-Agent)** : correspond à la communication directe qui consiste à envoyer intentionnellement des messages via un support et coordonner les activités des agents, en direction d'un agent ou un groupe d'agents. L'information transmise est encodée dans un langage à l'émission et décodée à la réception. Elle est propre aux agents cognitifs. Parmi les méthodes les plus utilisés, on trouve :
 1. Communication point-à-point : l'agent émetteur connaît et précise l'adresse de l'agent destinataire (ou bien des agents destinataires).
 2. Communication par diffusion : l'agent émetteur envoie le message à tous les agents du système.
- **L'interaction indirecte (Agent-Environnement)** : représente la communication indirecte qui se fait à travers l'environnement ou par le biais d'un tableau noir. Elle est utilisée par les agents réactifs.
 1. Dans une communication par environnement, les agents laissent des signaux ou des traces qui seront aperçus par les autres agents. Dans ce genre de communication il n'y a pas de destination bien défini.
 2. La communication par tableau noir (Blackboard) : est une structure de données accessible par tous les agents où l'ensemble des agents sont capables d'y mettre, de consulter, de modifier et de supprimer des messages. La diffusion des messages est effectuée sous forme d'annonces dans ce mode de communication.

2.5 Modélisation et Simulation basées Agents

Un scientifique, lorsqu'il désire étudier un phénomène particulier, dispose de plusieurs stratégies de recherche : Il peut collecter des données sur ce phénomène et les étudier à l'aide d'outils statistiques; il peut mener des

expériences “réelles” en laboratoire, et enfin il peut tenter de recréer le phénomène à l’aide d’une simulation informatique [4].

Dans cette section, nous nous intéressons à un type bien particulier de modélisation et de simulation numérique : la modélisation et la simulation à base d’agents.

2.5.1 Modélisation et Simulation à base d’Agents

La modélisation et la simulation basées sur les agents est une nouvelle approche de modélisation des systèmes complexes par des modèles composés d’agents autonomes et en interaction reflétant de manière presque identique la réalité. La modélisation basée agents ou ABM ("Agent Based Modeling") et la simulation basée agents ou ABS ("Agent based Simulation") [5] sont de plus en plus utilisées pour conceptualiser, modéliser et simuler des problèmes scientifiques complexes où les modèles mathématiques ont montré leur limites. ABM&S est une approche de modélisation et de simulation qui présente de nombreux avantages par rapport aux approches de simulation traditionnelles. Cette approche à grand potentiel, possède la capacité de représenter un comportement flexible et intelligent de bas niveau, un comportement dans un contexte environnemental dynamique. Le modélisateur est libre d’inclure dans le modèle tout ce qui est nécessaire.

Les ABM&S représentent les composants individuels d’un système et leurs comportements. Au lieu de décrire un système uniquement avec des variables représentant l’état du système entier, Les ABM&S modélisent ses agents individuels. Les ABM&S sont donc des modèles où les individus ou les agents sont décrits comme des entités uniques et autonomes qui interagissent généralement entre eux et avec leur environnement de manière locale.

Ainsi, grâce à ce type de simulation, la limite de la tractabilité mathématique est surmontée et nous pouvons commencer à aborder des problèmes qui nécessitent des modèles moins simplifiés et incluant davantage de caractéristiques des systèmes réels.

Selon Railsback et Grimm [18], les modèles à base d’agents se caractérisent par leur complexité, leur dynamisme, leur hétérogénéité. Nous considérons donc un modèle comme un programme informatique et une simulation comme l’exécution de ce programme informatique. La simulation consiste à animer le modèle, à le mettre en action en faisant le passage de la description du modèle au calcul du modèle et à sa visualisation, afin de

donner une représentation du phénomène modélisé. Pour créer un modèle à base d'agents, il faut considérer explicitement les trois éléments suivants :

- **L'ensemble des agents** : c'est des entités autonomes par rapport aux autres entités de l'environnement simulé. Être autonome implique que les agents agissent indépendamment les uns des autres et poursuivent leurs propres objectifs.
- **La spécification des interactions des agents** : il s'agit des interactions entre eux et avec leur environnement commun.
- **L'environnement simulé** : qui contient tous les autres éléments.

L'utilisation des ABM&S nous permet d'aborder les problèmes liés à l'émergence : la dynamique du système qui résulte de la façon dont les composants individuels du système interagissent et répondent les uns aux autres et à leur environnement. Ainsi, avec les ABM&S, nous pouvons étudier les questions de savoir comment le comportement d'un système découle des caractéristiques et des comportements de ses composants individuels et est lié à ceux-ci.

Dans ce travail, nous allons adopter cette approche (ABM&S) afin de modéliser et simuler tout le processus de prise en charge des patients dans un service d'urgence depuis leurs arrivées jusqu'à ce qu'ils quittent le système, ce qui justifie la popularité grandissante de cette approche.

2.5.2 Utilisation de la simulation à base d'agents pour la gestion des services hospitaliers

La simulation à événements discrets (DES), la dynamique des systèmes (SD) et la modélisation et la simulation à base d'agents (ABM&S) sont les trois principales approches utilisées lors de la simulation des systèmes de santé. L'efficacité et la qualité du service des urgences ont une grande influence sur l'ensemble du système de santé. Pour étudier de manière intensive le service des urgences et pour fournir le meilleur service avec un budget limité, il faut créer un modèle informatique réaliste basée sur les agents du service des urgences [26].

Nous nous intéressons ici à la simulation à base d'agents des com-

portements complexes, de processus décisionnels et d'interactions entre le personnel hospitalier et les patients. La simulation dans les systèmes d'urgence a été principalement utilisée pour l'étude et l'amélioration des systèmes et plus particulièrement pour l'élaboration des scénarios dits " Quoi-Si " [14], aidant les gestionnaires des urgences à mettre en place des stratégies et des directives de gestion pour améliorer la performance du service des urgences en réduisant de temps d'attente, en optimisant l'utilisation des ressources et en augmentant le nombre de patientes examinées .

Dans [12], l'auteur a proposé une simulation à base d'agents qui modélise diverses phases du flux de travail du service d'urgence, telles que le triage, le dépistage infirmier, l'examen des résidents, l'examen de participation, etc. L'objectif de son article est de développer une simulation basée sur des agents pour permettre une exploration libre des performances des urgences dans divers contextes, ainsi que de caractériser et étudier les performances du service d'urgence dans différents contextes du processus de triage et du processus de procédure de radiologie. Afin de pouvoir illustrer l'impact des changements du processus de triage et du processus de radiologie sur le temps de traitement des patients et les autres mesures de performance critiques.

Les auteurs de [13], ont présenté une modélisation et simulation à base d'agents dans un service d'urgences. Ils ont proposé une nouvelle approche, où tous les agents du personnel ont participé au processus décisionnel pour réaffecter les ressources au service des urgences, en fonction de leurs observations dans leurs sections respectives.

Dans [15], Les auteurs ont proposé une nouvelle approche qui modélise une hiérarchie de pseudo-agents hétérogènes en interaction dans la simulation à événements discrets (DES), où les pseudo-agents sont des entités avec une logique de décision intégrée.

Dans [11], l'auteur a mené une enquête sur l'utilisation des cadres formels et des méta-modèles pour la programmation des systèmes multi-agents dans la simulation à base d'agents. Il a développé un modèle simple pouvant aider le personnel des urgences hospitalières à prendre des décisions qui bénéficient à l'ensemble du service. L'auteurs a discuté sur comment les journaux d'événements collectés dans un hôpital réel peuvent être utilisés pour générer des contraintes organisationnelles à utiliser dans la simulation à base d'agents.

Un système d'aide à la décision a été présenté en utilisant la simulation à bases d'agents, les auteurs de [7], ont proposé d'utiliser la méthode algorithmique de recherche exhaustive (recherche par force brute) afin d'aider les chefs des services des urgences à améliorer le fonctionnement de ses services et de trouver la configuration optimale du personnel.

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé par présenter le concept d'agents et les systèmes multi agents. Puis nous avons exposé les principes de base d'une nouvelle approche à savoir la modélisation et la simulation à base d'agents pour étudier des systèmes complexes où les approches conventionnelles ont montré leurs limites. Nous avons enfin présenté un bref état de l'art sur l'utilisation de cette approche pour la gestion des services hospitaliers .

Dans le prochain chapitre, nous allons détailler notre modèle à base d'agents pour la gestion du service des urgences « Hôpital de kherrata ». Pour la simulation de notre modèle, nous allons utiliser une plateforme dédiée à l'approche ABM&S qui permet de créer des frameworks complexes constitués d'un grand nombre d'agents qui travaillent et agissent en parallèle et librement. Grâce à cette plateforme, on peut visualiser toutes les actions et interactions des agents.

Chapitre 3

Modélisation : une approche basée agent pour un système d'aide à la gestion du service des urgences « Hôpital de Kherrata »

3.1 Introduction

La modélisation représente une des techniques d'évaluation des performances d'un système réel. Elle permet de passer du système au modèle et puis d'analyser les performances du modèle. Il est important de proposer une modélisation des urgences, afin de répondre au mieux au besoin d'amélioration de ce dernier. Cette modélisation va permettre de mieux identifier les dysfonctionnements et les problèmes rencontrés.

Il serait intéressant d'utiliser deux techniques pour évaluer les performances d'un système, par exemple commencer par la modélisation analytique (quand c'est possible) pour comprendre rapidement le système, ensuite valider ce système par simulation.

Ce chapitre présente la modélisation du service des urgences de l'hôpital de Kherrata par les files d'attentes et de la simulation à base d'agents. Nous présentons d'abord les différentes techniques d'évaluation des performances d'un système, puis nous détaillerons notre modèle qui est basé sur l'intégration d'un système de simulation à base d'agents afin d'améliorer le fonctionnement du service des urgences à l'hôpital public hospitalier de Kherrata.

3.2 Techniques d'évaluation de performances

Pour évaluer les performances d'un système, trois techniques complémentaires peuvent être utilisées à savoir :

- **La technique de mesure** : consiste à effectuer des mesures de performances directement sur le système réel, bien que cette technique fournisse des résultats réels sur le système étudié, mais elle n'offre pas la possibilité d'améliorer les performances des systèmes complexes tels que le service des urgences.
- **La technique de simulation informatique** : consiste à reproduire le comportement du système réel par un programme informatique, l'utilisation de cette technique donne la possibilité de reproduire tous les détails de fonctionnement du système réel. Les résultats fournis sont approximatifs.
- **La technique de modélisation mathématique** : consiste à représenter le système réel par un modèle mathématique abstrait, l'utilisation de cette technique fournit des résultats exacts et irréfutables qui sont valables jusqu'à la preuve de la contrainte par démonstration. Le problème dans l'utilisation de cette technique est que les résultats analytiques sont souvent difficiles à interpréter ou à projeter dans la réalité.

Il existe de nombreux formalismes de la modélisation mathématique les plus connus sont les suivants : le processus stochastique, les files d'attente et les réseaux de pétri.

Dans la suite de ce chapitre, nous allons nous intéresser à la technique de modélisation par un réseau de files d'attente.

3.3 Modélisation organisationnelle

Les agents actifs considérés sont :

- 1) **L'agent patient** : il sera soigné par le personnel des urgences. Nous ne disposons pas du nombre exact des patients qui arrivent.
- 2) **Le médecin** : Nous avons deux médecins qui effectuent des consultations. Ils sont généralement répartis sur les deux salles de consultation.
- 3) **La réceptionniste** : elle reçoit les patients à leurs arrivées au service des urgences, puis elle les classe en trois niveaux de priorités.
- 4) **Chef de service** : c'est lui qui prend la décision de tout ce qui

concerne le service.

3.4 Flux des patients

Les patients arrivent aux urgences, soit avec leurs propres moyens ou bien par ambulance :

- 1) Le cas des patients arrivant avec leurs propres moyens : Les patients arrivent à la zone de triage, ils seront classés par la réceptionniste en trois niveaux de gravités (gravement urgent, urgent, non urgent). Les patients gravement urgents sont plus propriétaires que les patients urgents, donc ils seront directement admis si l'un des médecins de consultation est libre, sinon ils vont rejoindre la file d'attente. De même, les patients urgents sont plus prioritaires que les patients non urgents.

Après la consultation, le médecin évalue l'état du patient et décide soit de le libérer, ou bien de l'orienter vers l'une des zones suivantes : (zone de soins, zone d'observation, zone de réanimation), pour recevoir un traitement supplémentaire.

- 2) Le cas des patients arrivant par ambulance : Les patients seront directement évacués vers l'une des trois zones de traitement. Dans le cas, de la non disponibilité des lits, les patients vont rejoindre une file d'attente. Pour les patients transférés vers la salle de réanimation, si tous les lits sont occupés, alors ils seront évacués vers un autre établissement de santé.

Le flux des patients du service des urgences de Kherrata est illustré dans la figure 3.1 :

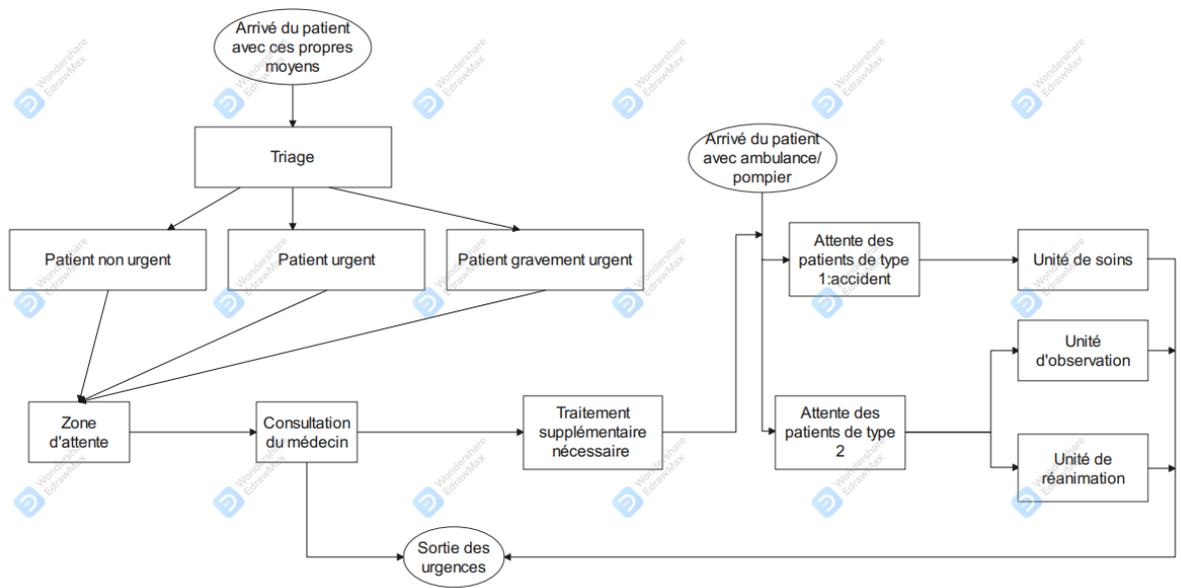


FIGURE 3.1 – Diagramme de flux des patients du service des urgences de l’hôpital de Kherrata.

La figure 3.2 présente le processus détaillé de flux des patients dans le service des urgences de Kherrata.

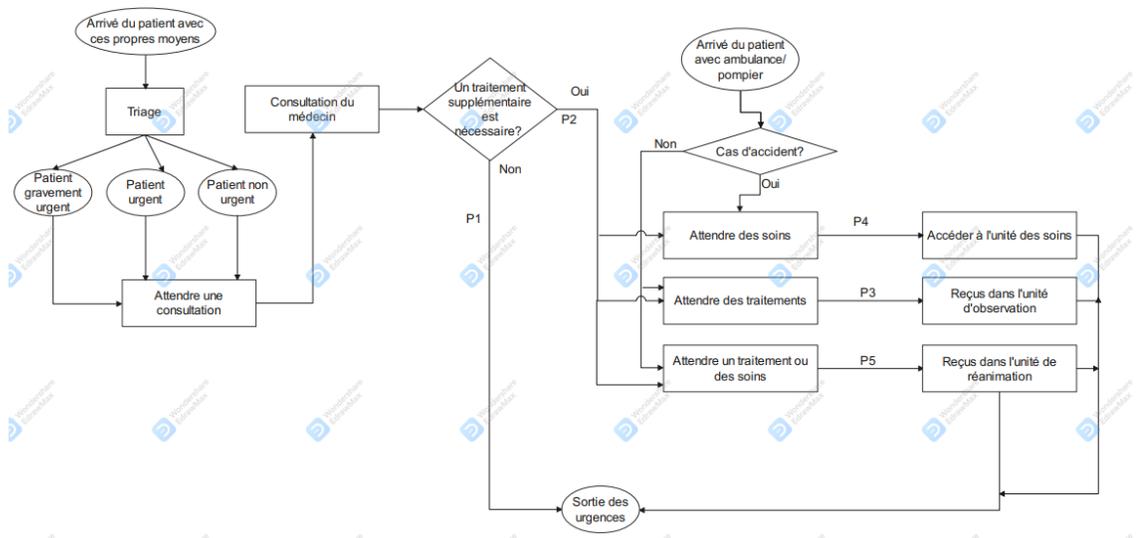


FIGURE 3.2 – Processus détaillé de flux des patients du service des urgences de l’hôpital de Kherrata.

3.5 Conception et modélisation des agents de la simulation

En se basant sur les entretiens avec le personnel médical et paramédical ainsi que l’observation attentive du système, un modèle conceptuel détaillé est construit, où les différentes actions et les changements de comportement des agents sont modélisés.

3.5.1 La modélisation de l’agent réceptionniste

Nous avons une seule réceptionniste qui est chargée d’accueillir les patients qui se présentent aux urgences. Elle est aussi chargée de faire le triage en classant les patients en trois classes de priorités (gravement urgents, urgents et non urgents). La modélisation de l’agent réceptionniste est présentée dans la figure 3.3 :

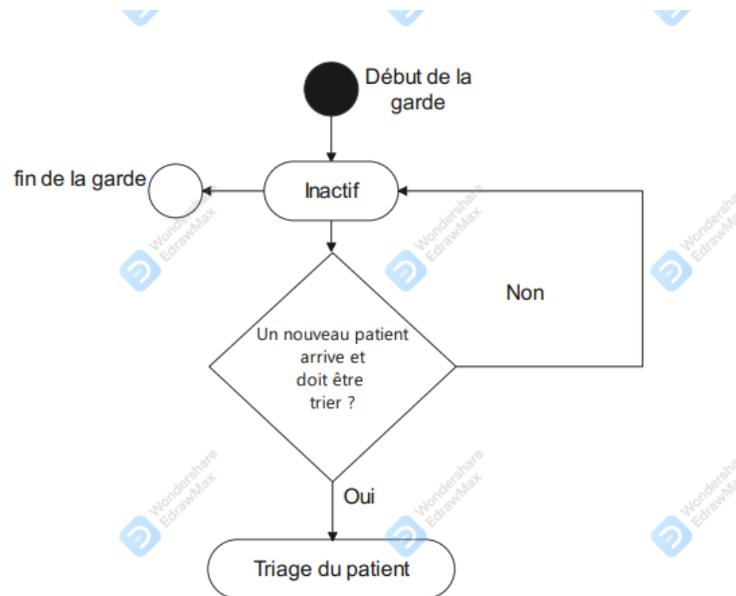


FIGURE 3.3 – Comportement et les activités de la réceptionniste.

3.5.2 La modélisation de l’agent médecin de consultation

Nous avons deux médecins consultants qui sont initialement installés dans la salle de consultation, pour recevoir les patients qui ont besoin d’une consultation médicale. Les médecins de consultation peuvent se déplacer vers la salle d’observation, la salle de réanimation ou bien la salle des soins selon le besoin, Comme il est illustré dans la figure 3.4 :

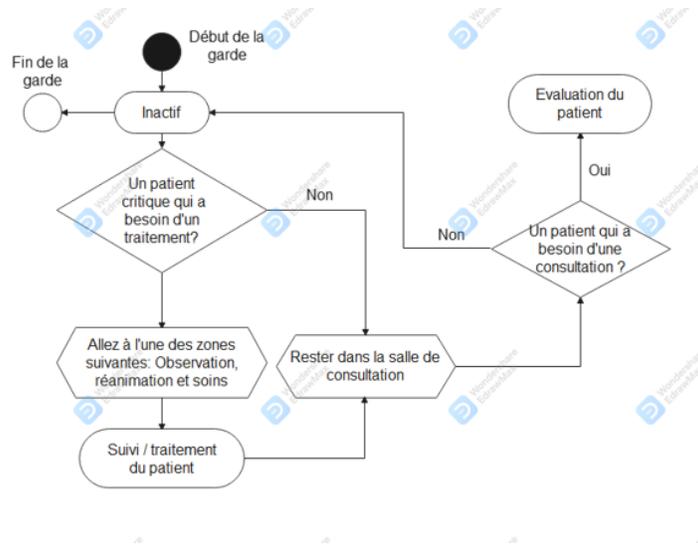


FIGURE 3.4 – Comportement et les activités du médecin de consultation.

3.5.3 La modélisation de l'agent patient

Nous avons trois catégories de priorités des patients, qui seront présentés dans notre simulation : non urgents (vert), urgents (orange) et gravement urgents (rouge). Comme il est illustré dans la figure 3.5 :

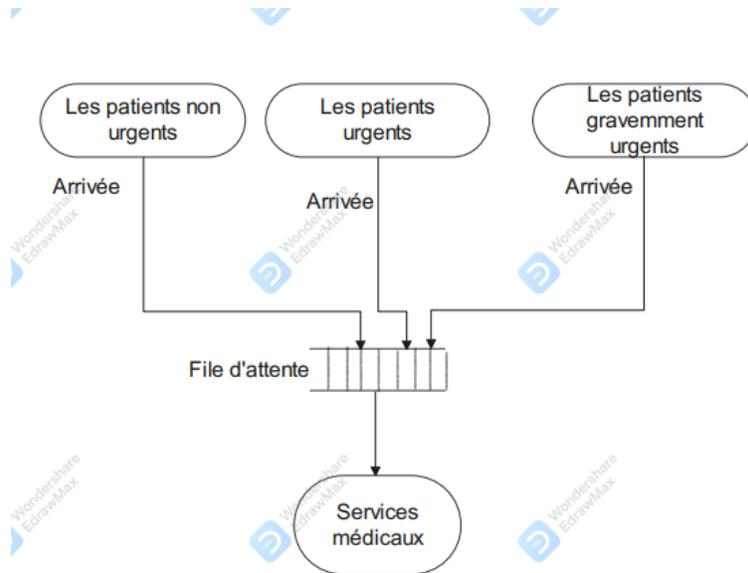


FIGURE 3.5 – Niveaux d’acuité des patients.

Pour le bon fonctionnement des files d’attente telle qu’elle est en réalité, un système de file d’attente basée sur les méthodes de file d’attente (priorité et FIFO) est mis en œuvre. Les patients gravement urgents sont plus prioritaires par rapport aux patients urgents et non urgents.

3.6 Modèle de file d’attente

Aujourd’hui, les files d’attente représentent des phénomènes que l’on rencontre quotidiennement dans de très nombreux domaines et sous diverses formes. Une file d’attente représente toute situation dans laquelle des entités (client, serveur) sont introduites dans un système, où ils vont être traités (un client arrive dans une file où les instants d’arrivées et les durées de service sont généralement des quantités aléatoires, puis il attend un service, reçoit le service, puis se dirige vers une autre file ou quitte le système) pendant une certaine période dans un certain ordre [21].

Nous avons modélisé le fonctionnement du service des urgences de l’hôpital de kherrata par un réseau de files d’attente (voir la figure 3.6). Pour bien expliquer notre modélisation, nous donnons ici quelques rappels sur la théorie des files d’attentes.

3.6.1 Caractéristiques des modèles de file d'attente

Tout modèle de file d'attente a un ensemble de caractéristiques qui le distinguent les uns des autres, et ces caractéristiques sont les suivantes :

Le processus d'arrivée

C'est une collection des dates d'arrivées des patients, dès que les instants d'arrivées sont imprévisibles, elles sont modélisées par des variables aléatoires, dans cette situation le processus des arrivées devient alors une collection des variables aléatoires. Le processus de poisson c'est le plus utilisé pour caractériser le processus d'arrivée dans les systèmes de file d'attente.

Le processus de service

- 1) **Le temps de service** : représente la période entre deux services consécutifs. Il peut être fixe pour toutes les unités ou bien variable, qui est décrit soit par une loi de probabilité ou déterminé dès le début [3]. La distribution du temps de service la plus utilisée est la distribution exponentielle.
- 2) **La discipline de la file** : elle indique dans quel ordre sont traités les clients, où un certain nombre de règles courantes sont adoptés. Autrement dit, cette discipline est la technique de sélection du prochain client lorsque le serveur termine le service du client courant [21]. Un certain nombre de disciplines sont utilisées telle que :
 - **FCFS** : Premier arrivée, premier servi qui est équivalente à la discipline premier entrée, premier sorti (FIFO), les clients sont servis selon leurs ordre d'arrivée.
 - **Priorité** : dans cette discipline, les clients sont servis, suivant leur importance dans la population. Une personne prioritaire sera servie avant une personne non-prioritaire, même si elle est arrivée avant. Cette discipline s'impose partiellement dans le service d'urgence... etc.

3.6.2 Modélisation du service des urgences « Hôpital de Kherrata » par un système de files d'attente

Typiquement, une file est composée de clients, qui correspond dans notre modélisation aux patients. Ces derniers se présentent au service des urgences

demandant un service. Un service peut être un serveur humain, un serveur informatique...etc. Dans notre cas le serveur peut être une réceptionniste, un médecin ou bien des lits d'hospitalisation.

Dans notre modèle, les arrivées sont aléatoires, individuelles et indépendantes qui suivent un processus de Poisson de taux λ (qui représente le nombre moyen des patients arrivant pendant une unité de temps). Nous avons pris l'heure comme unité de temps et la durée de service de taux μ (qui représente le nombre moyen de clients servis pendant une unité de temps, donc $1/\mu$ est le temps moyen de service d'un client).

Nous avons modélisé un serveur occupé par la couleur rouge, mais quand il se libère sa couleur sera changé automatiquement et deviendra vert. La file d'attente que nous avons étudié est une file avec une capacité infinie du nombre des patients. Cette modélisation nous permet de faire la formulation mathématique et une meilleure compréhension du système.

La discipline de service, qui se base sur la priorité des patients est imposée. Les patients sont répartis en plusieurs classes (gravement-urgents, urgents, non-urgents) avec des ordres de priorité différents (plus prioritaires, prioritaires, non prioritaires). Par exemple, une personne prioritaire devra être servie avant une personne non prioritaire, même si celle-là est arrivée avant. Dans le service d'urgence, dans le cas où une personne prioritaire arriverait pendant le service d'une personne non prioritaire, le service de la personne non prioritaire continue jusqu'à sa fin, avant le traitement de la personne prioritaire.

A chaque étape du processus, les patients peuvent décider de poursuivre le traitement ou de quitter les urgences sans être traités. Puisque les patients avec la couleur rouge sont les plus prioritaires, alors le modèle suppose que ces patients ne quitteraient pas le service d'urgence sans recevoir de soins, car ce sont les plus prioritaires pour recevoir un traitement et ont un état grave [13].

Sur la base de données, nous avons calculer les moyennes, mais nous n'avons pas fait d'ajustement. Nous avons travaillé sur des hypothèses.

Parmi ces moyennes :

- Lambda 1 : Le nombre moyen des patients qui arrivent avec leurs propres moyens / heure.
- Lambda 2 : le nombre moyen des patients qui arrivent par ambulance et seront transférer vers la zone des soins / heure.
- Lambda 3 : le nombre moyen des patients qui arrivent par ambulance et seront transférer vers la zone d'observation / heure.

- Lambda 4 : le nombre moyen des patients qui arrivent par ambulance et seront transférer vers la zone de réanimation / heure.

Nous avons aussi calculé le temps moyen de chaque service des urgences de l'EPH de Kherrata, dont S1 représente le service de triage, S2 le service de consultation 1, S3 le service de consultation 2, S4 la zone des soins, S5 la zone d'observation et enfin S6 qui représente le service de réanimation.

- Après le triage les patients seront classés en 03 catégories selon leurs gravités :
Les patients gravement urgents avec la probabilité a_1 , les patients urgents avec la probabilité a_2 et les patients non-urgents leurs probabilités c'est a_3 .
- Après la consultation, les patients soit ils seront libérés ou bien admis, alors la probabilité des patients qui seront libérés c'est P1. les patients qui seront admis pour avoir des traitements supplémentaires leurs probabilités est P2. Ces derniers seront aussi transférés vers l'une des zones des soins, d'observation, de réanimation :
Les patients qui seront transférer vers le service des soins leurs probabilités c'est P3. La probabilité des patients qui seront transférer vers la zone d'observation c'est P4 et P5 c'est la probabilité des patients qui seront transférés vers la zone de réanimation.

Comme il est illustré dans la figure 3.6 :

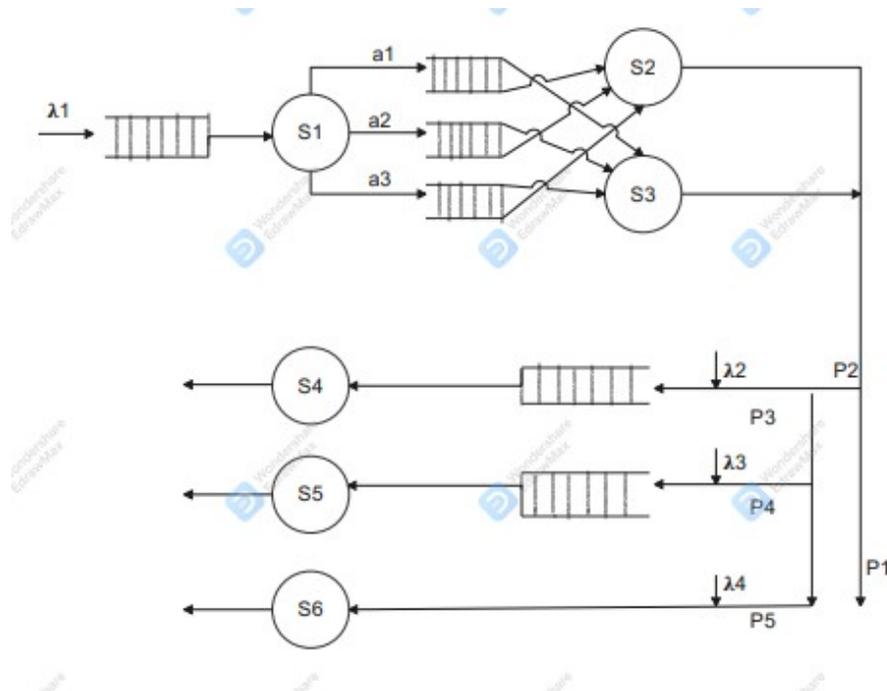


FIGURE 3.6 – Modèle de files d’attente des urgences de l’hôpital de Kherrata.

3.7 Collecte de données

Afin de mieux comprendre le fonctionnement du service des urgences, nous avons réalisé une étude approfondie sur le processus de travail. Nous avons réalisé un stage pratique durant deux mois à l’hôpital de kherrata.

La collecte des données a été une tâche très difficile, nous avons été obligés de recueillir manuellement toutes les données nécessaires pour construire notre modèle, telles que le nombre des patients qui arrivent au service des urgences, le taux d’arrivée des patients, les horaires actuels des médecins et des infirmiers, la durée de chaque traitement ... etc.

Nous avons obtenu les données qui couvre des informations sur notre système, en observant directement le système, en faisant des discussions et des entretiens avec le personnel du S.U ainsi qu’à partir des registres des patients (registres de consultation, les registres d’accidents ... etc.).

Notre base de données a été stockée dans un fichier Excel, où nous avons calculés les différents taux d’arrivée de notre système, comme il est présenté dans la figure 3.7 :

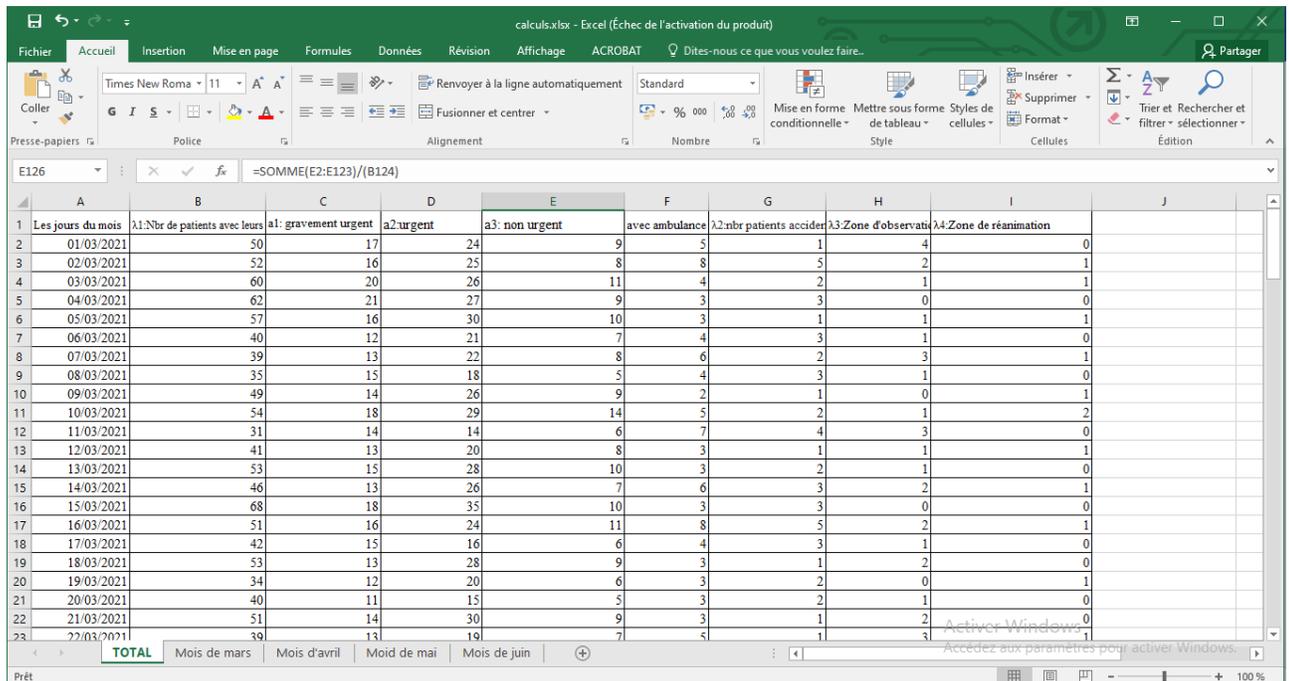


FIGURE 3.7 – les données collectées et les résultats obtenus sur les différents taux d'arrivées.

Nous avons aussi un autre fichier Excel qui représente le taux de services et la durée de traitement de chaque zone, comme le montre la figure 3.8 :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		S1:Triage	S2 et S3:Zone de consultation 1 et 2	S4: zone de soins		S5:Zone d'observation	S6:Zone de réanimation			
2		//	//	injection et pansement	platre et brulure	//	//			
3	La durée moyenne (min)	1 min	15 min	5 min	20 min	60 min	180 min			
4	La durée moyenne (h)	0,016666667	0,25	0,083333333	0,333333333	1	3			
5	Taux de service (patients/h)	60	4	12	3	1	0,333333333			
6										
7										
8										
9										
10										

FIGURE 3.8 – Les résultats obtenus sur les taux de services des différentes zones.

A partir des données recueillies ainsi que les informations données par le personnel de l'hôpital, nous avons constaté que : 95,5% des patients arrivent au service des urgences avec leurs propres moyens, les 4.5% restants pour les patients qui arrivent soit par ambulances ou pompiers. Parmi les patients qui arrivent au S.U, 27% sont les patients gravement urgents, 54% sont les patients urgents, et 19% sont les patients non urgents.

3.8 Conclusion

Le recours à l'évaluation des performances d'un système d'attente est nécessaire avant toute prise de décision. Dans le cas du service des urgences, la modélisation consiste à modéliser le processus des flux des patients. Dans ce chapitre, nous avons parlé brièvement sur les différents modèles d'évaluation des performances, puis nous avons expliqué les différents comportements des différents agents intelligents du système, ainsi, que notre modélisation du cas actuelle par un système de files d'attente.

Dans le dernier chapitre, nous allons proposer des scénarios en cas de saturation des urgences, puis analyser et discuter les résultats obtenus.

Chapitre 4

Evaluation et résultats

4.1 Introduction

Les principaux problèmes étudiés de la filière d'urgence traitent de la modélisation et la simulation des flux de patients, dont le but est de diminuer les temps d'attente et de séjour des patients.

La simulation est couramment utilisée comme outil d'aide à la décision dans le service des urgences, dont les agents ont la capacité de prendre des décisions pour améliorer les performances de ce dernier.

Dans le chapitre précédent, nous avons proposé une modélisation basée sur les agents et les files d'attentes pour le bon fonctionnement du service des urgences de l'hôpital de Kherrata. Dans ce chapitre en premier lieu, nous allons présenter le système de simulation que nous avons développés et implémentés en utilisant l'environnement de modélisation programmable multi-agents Netlogo. En deuxième lieu, nous allons discuter les résultats des différents scénarios proposés. Puis, nous allons présenter une étude comparative de ces résultats.

4.2 La simulation à base d'agents des urgences

La simulation du service des urgences à base d'agents permet de prévoir les flux des patients, comme elle représente un aide à la décision pour le personnel médical (dans notre cas le chef du service) qui souhaite construire ou modifier les aménagements.

La démarche de simulation selon Drogoul [1] passe par trois étapes distinctes :

- L'étape de modélisation, qui consiste à construire le modèle de phénomène à étudier.
- L'étape d'expérimentation, qui consiste à soumettre ce modèle à un certain type de variations.
- L'étape de validation, qui consiste à confronter les données expérimentales obtenues avec le modèle réel.

Dans notre cas, nous allons commencer directement par l'expérimentation puis la validation, car la première étape (la modélisation) est faite dans le chapitre précédent.

4.3 Développement et implémentation de notre modèle de simulation

La simulation devient un outil courant pour étudier l'organisation et la gestion des systèmes hospitaliers, en vue d'améliorer leur fonctionnement. Dans le développement de notre modèle, pour l'étape d'analyse nous avons pris un échantillon qui permet de déterminer le temps moyen, minimum et maximum qu'un patient peut occuper au niveau de chaque service. Pour l'étape de la modélisation, nous avons choisi d'appliquer la modélisation par les files d'attente. Pour la phase d'implémentation de notre modèle de simulation, nous avons construit un modèle de simulation semblable au système réel (service des urgences de l'hôpital de Kherrata), il contient tous les détails du système actuel, comme les ressources du service (médecins, infirmiers, lits ...etc.). Le modèle a été mis en œuvre à l'aide de l'environnement de modélisation programmable multi-agents Netlogo, qui est une plate-forme bien adaptée pour la modélisation et le développement des systèmes complexes composés de centaines ou des milliers d'agents opérants et agissants en parallèle et indépendamment [14].

Le modèle comprend les six zones principales du service des urgences de l'hôpital de Kherrata comme les montre la figure 4.1 : la zone d'attente, la zone de consultation, la zone d'observation, la zone de réanimation, la zone de soins ainsi que la zone de triage.

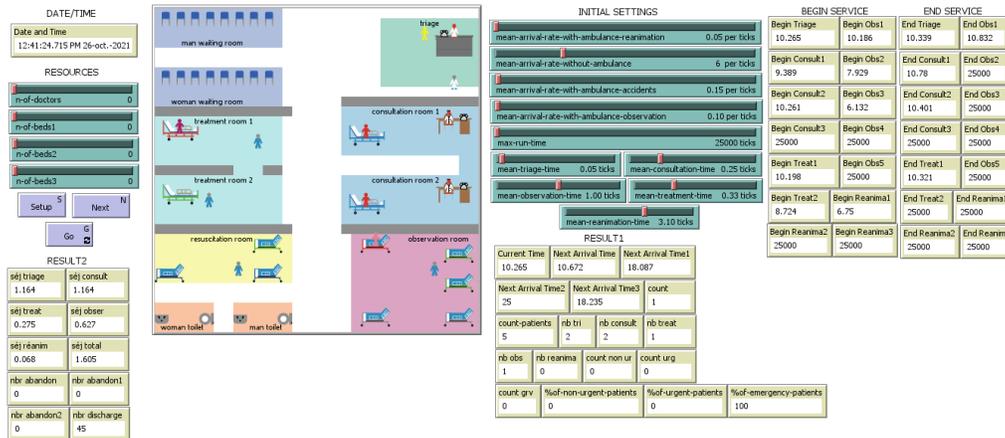


FIGURE 4.1 – Présentation du système de simulation.

4.3.1 Présentation de NetLogo



NetLogo [22] est un environnement de Modélisation et simulation à base d'agent (ABM&S) conçu à l'origine pour l'enseignement, mais il est de plus en plus utilisée pour la recherche [18, 24]. Il a été rédigé par Uri Wilensky en 1999, depuis il est en développement continu au Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling.

Notre modèle de simulation a été implémenté par le simulateur NetLogo, qui est l'un des plus réponsus dans le domaine de la simulation. Il permet d'obtenir un modèle de simulation flexible qui peut être facilement modifié et complété [2], et d'une autre part sa disponibilité dans nos locaux de recherche avec animation graphique. Comme il fournit également une visualisation 2D et 3D de tous les systèmes simulés, qui montrent toutes les actions et interactions des différents agents à chaque étape du processus.

NetLogo est livré avec une grande bibliothèque de modèles, de nombreux modèles (biologie, physique, chimie, psychologie, économie, etc). Le code source de NetLogo a été mis à disposition du public en 2011 avec un langage de programmation simple mais puissant.

NetLogo est également livré avec "BehaviorSpace" [23], un outil pratique pour exécuter des expériences de simulation, c'est-à-dire faire varier automatiquement les paramètres, exécuter des simulations et écrire les sorties de modèle dans des fichiers.

4.4 Paramètres initiaux et premiers résultats

Dans notre modèle de simulation, les différentes variables sont représentées par des curseurs dans notre interface utilisateur graphique. Par conséquent, nous pouvons facilement modifier le nombre d'éléments différents tels que le taux des arrivées etc, comme le montre la figure 4.2 :

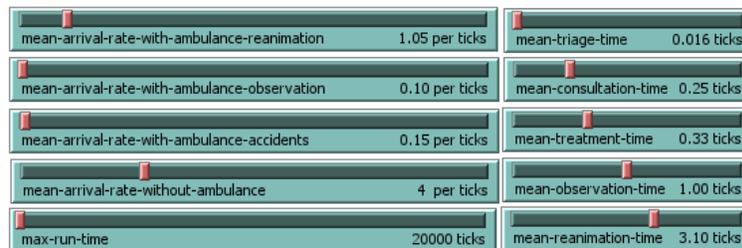


FIGURE 4.2 – Curseurs NetLogo pour la création de patches d'agents individuels.

Seules les variables que nous devons modifier sont affichées dans l'interface utilisateur, les autres ne peuvent être vue que dans le code. L'une des fonctionnalités utiles de NetLogo est BehaviorSpace, qui permet aux utilisateurs d'effectuer des expériences avec des modèles.

4.5 Représentation 3D du modèle de la simulation

Le comportement des agents individuels (opérateurs ou patients) suit des règles simples. Si les patients ne sont pas impliqués dans une activité (où les serveurs peuvent être des médecins, réceptionniste ou des lits). Alors, ils seront gérés par des différentes files d'attente, selon leurs priorités ainsi que leurs arrivés, à l'exception des patients qui vont rejoindre la zone de réanimation, si les lits de réanimation sont pas occupés alors les patients

seront admis, sinon ils seront évacués vers un autre établissement de santé.

Dans notre modèle, les patients qui arrivent avec leurs propres moyens :

- Avant le triage, leurs couleurs dans la carte NetLogo est gris et rejoignent la première file d'attente.
- Pendant le triage, leurs couleurs dans la carte NetLogo est jaune.
- Après le triage, les patients gravement urgents sont représentés par la couleur rouge dans la carte NetLogo, ils sont plus prioritaires que les patients urgents (avec la couleur orange) qui sont les plus prioritaires que les patients avec la couleur vert (qui représente les patients non urgents).
- Après la consultation, les patients avec la couleur magenta dans la carte NetLogo seront transférés vers la zone de soins. les patients (avec la couleur rose) vont être admis dans la zone d'observation enfin les patients qui vont rejoindre la zone de réanimation auront la couleur bleu-vert.

Les patients qui arrivent avec ambulances sont déjà triés et consultés :

- Les patients (avec la couleur violet) vont rejoindre la zone d'observation, les patients (avec la couleur noir) seront transférés vers la zone de soins et pour les patients qui vont rejoindre la zone de réanimation leurs couleurs dans la carte Netlogo est marron.

La figure 4.3 montre les résultats de la simulation en 3D.

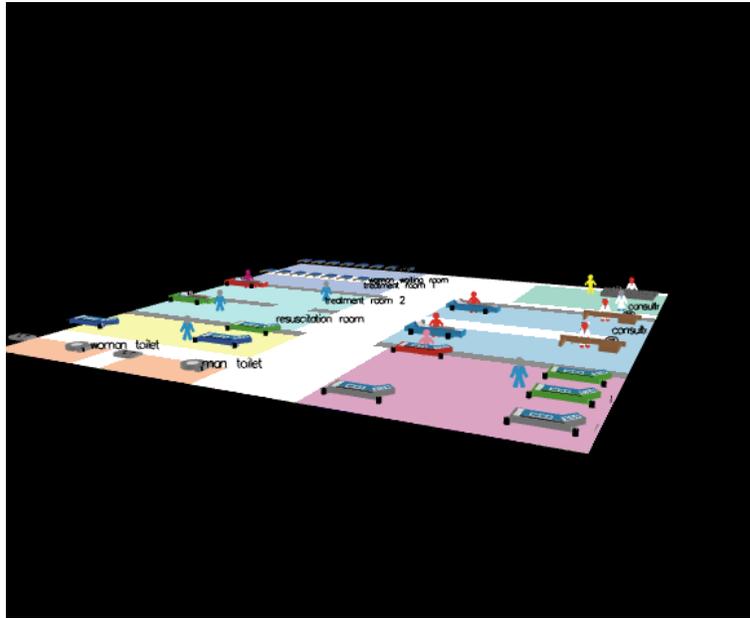


FIGURE 4.3 – Résultats de la simulation en 3D.

4.6 Indicateurs clés de performance

Les résultats de simulation seront comparés avec les données du système réel, afin d'évaluer la performance de notre système, en se basant sur les indicateurs clés de performance. Notre principal souci est d'augmenter le nombre de patients traités, ce qui revient à diminuer le temps moyen de séjour ainsi que le nombre moyen des évacuations vers d'autres établissements de santé.

Les indicateurs clés de performance de notre processus correspondant aux indicateurs suivants :

- Délai moyen de séjour d'un patient au service.
- Nombre moyen des patients évacués vers d'autres établissements de santé.

4.7 Amélioration de la performance du système

4.7.1 Méthodologie de prise de décision

Les outils d'aide à la décision sont utilisés dans différentes études liées à la simulation dans les services des urgences. La proposition de prise de décision par le chef de service a été utilisée pour réorganiser les urgences en fonction de différents critères. Dans ce processus, le nombre de médecins change selon le besoin mais leurs fonctions sont restées inchangées.

4.7.2 Communication entre agents

L'une des caractéristiques de la simulation à base d'agents (ABS) est la possibilité de faire communiquer les agents. Dans notre modèle, nous avons utilisé la communication 1-à-1, entre le chef de service et la réceptionniste pendant le processus de prise de décision.

En cas de pré-saturation des urgences, la réceptionniste informe le chef de service en lui envoyant un message "attention pré-saturation", afin qu'il puisse prendre une décision pour améliorer la performance du système. Le chef de service peut décider soit de faire appel à un médecin disponible d'un autre service, ou bien de faire évacuer les patients non urgents.

En cas de saturation des urgences, la réceptionniste informe le chef de service en lui envoyant un message "attention saturation", afin qu'il puisse prendre une décision pour améliorer la performance du système. Le chef de service peut décider soit de faire appel à un médecin disponible d'un autre service et de faire une évacuation totale des patients.

4.7.3 Les scénarios proposés

Pour évaluer les performances de notre système, en se basant sur les indicateurs cités précédemment, de nombreuses exécutions de simulation selon différents scénarios ont été faites.

- Dans le premier scénario, en cas de la pré-saturation des urgences, la réceptionniste envoie un message pour informer le chef de service, qui va par la suite prendre une décision. Il va décider soit :
 - _ De faire appel à un troisième médecin disponible d'un autre service.

- D’envoyer un message à la réceptionniste et lui demander d’évacuer les patients non urgents et d’accepter dans le service que les patients gravement urgents et urgents. Afin de diminuer le temps de séjour moyenne.
- Dans le deuxième scénario, en cas de saturation des urgences, le chef de service vas décider de faire une évacuation totale des patients, en envoyant un message à la réceptionniste et lui demander de n’accepter aucun patient. Aussi de faire appel à un troisième médecin disponible d’un autre service pour la consultation. Dans le but de réduire la durée de séjour moyenne.
- Dans le troisième scénario, nous avons proposé d’ajouter un quatrième lit dans la zone de réanimation, dans le but de réduire le nombre moyen des patients évacuées.
- Dans le quatrième scénario, nous avons combiné les trois scénarios précédent. Afin de réduire la durée de séjour moyenne et de diminuer le nombre de patients évacuer.

4.8 Résultats de la simulation

Pour recueillir les résultats statistiques à partir de notre modèle, nous avons utilisé un outil de Netlogo appelé BehaviorSpace, cette outil exécutera automatiquement le modèle plusieurs fois avec plusieurs paramètres différents et collectera les résultats dans un fichier CSV.

Nous avons fait plusieurs expériences différentes, pour chaque valeur de λ (4, 8 et 12), dans chaque expérience nous avons recueilli les résultats de 50 répétitions.

4.8.1 La durée moyenne de séjour

Les statistiques obtenues nous permettront de vérifier que la durée moyenne de séjour des patients augmente avec l’augmentation des taux d’arrivées des patients avec leurs propres moyens (λ).

La figure 4.4 illustre les résultats de la simulation de la durée moyenne de séjour (3 lits et 2 médecins).



FIGURE 4.4 – La durée moyenne de séjour (03 lits et 02 médecins).

La figure 4.5 illustre les résultats de la simulation de la durée moyenne de séjour (03 lits et 03 médecins).

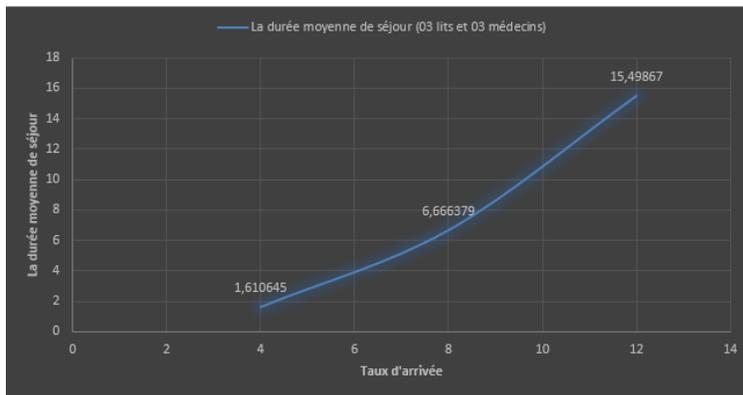


FIGURE 4.5 – La durée moyenne de séjour (03 lits et 03 médecins).

La figure 4.6 illustre les résultats de simulation de la durée moyenne de séjour (04 lits et 03 médecins).

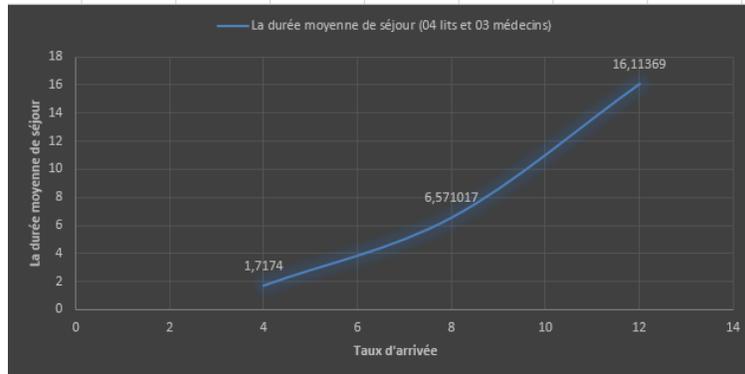


FIGURE 4.6 – La durée moyenne de séjour (04 lits et 03 médecins).

Nous remarquons, sans aucun doute que quand $\lambda = 12$ la durée moyenne de séjour des patients est plus élevée que lorsque $\lambda = 8$. Ainsi que, la durée moyenne de séjour des patients quand $\lambda = 8$ est plus élevée que quand $\lambda = 4$. Nous déduisons que, la durée moyenne de séjour augmente avec l'augmentation des taux d'arrivées, d'après les résultats de la simulation.

4.8.2 Le nombre moyen des évacuations

Nous allons présenter les résultats obtenus des différents scénarios sur le nombre moyen des évacuations sous forme de graphes .

La figure 4.7 illustre les résultats de la simulation du nombre moyen des évacuations (3 lits et 2 médecins).

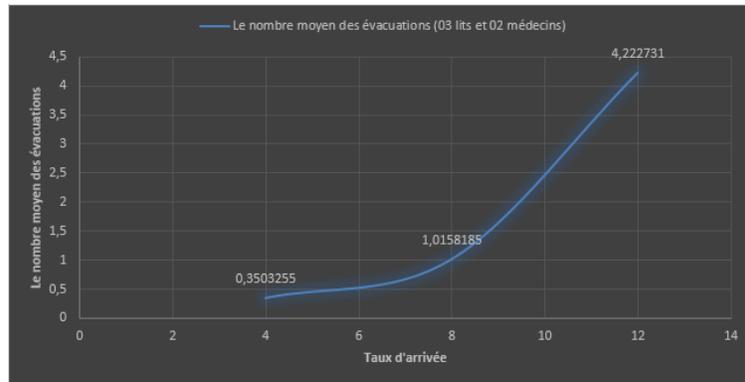


FIGURE 4.7 – Nombre moyen des évacuations (03 lits et 02 médecins).

La figure 4.8 illustre les résultats de la simulation du nombre moyen des évacuations (04 lits et 02 médecins).

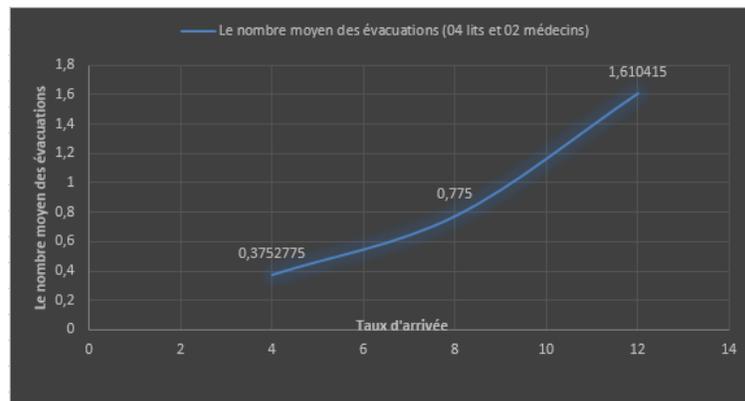


FIGURE 4.8 – Nombre moyen des évacuations (04 lits et 02 médecins)

La figure 4.9 illustre les résultats de la simulation du nombre moyen des évacuations (04 lits et 03 médecins).

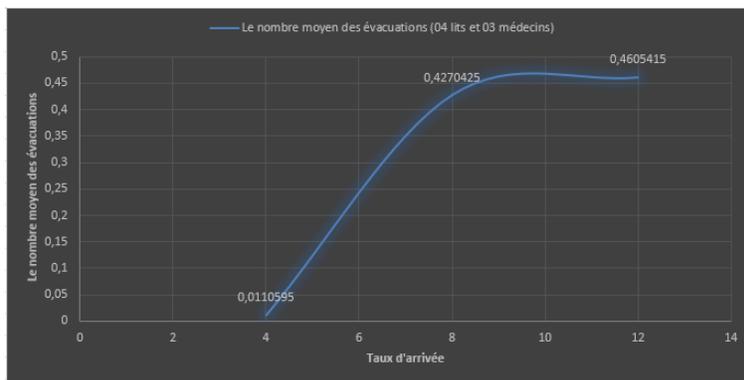


FIGURE 4.9 – Nombre moyen des évacuations (04 lits et 03 médecins).

Nous remarquons que le nombre moyen des patients évacués est plus élevé quand $\lambda = 12$ par rapport à quand $\lambda = 8$. Ainsi que, le nombre moyen des évacuations quand $\lambda = 8$ est plus élevé que quand $\lambda = 4$.

On remarque aussi que, quand on ajoute un lit de réanimation, le nombre moyen des patients évacués diminue, et que l'ajout d'un troisième médecin temporairement n'affecte pas le nombre moyen des évacuations.

Nous déduisons d'après les résultats de la simulation que, le nombre moyen des évacuations augmente avec l'augmentation des taux d'arrivées, et qu'il diminue avec l'ajout d'un lit supplémentaire dans la zone de réanimation.

4.8.3 Une étude comparative

Nous avons effectué une étude comparative afin de tester la performance des scénarios proposés. Pour faire, nous avons effectué des comparaisons des résultats de simulation concernant la durée moyenne de séjour et le nombre moyen des évacuations en fonction des taux d'arrivées.

La figure 4.10 illustre les résultats obtenus de la simulation des différents scénarios concernant le temps de séjour moyen.

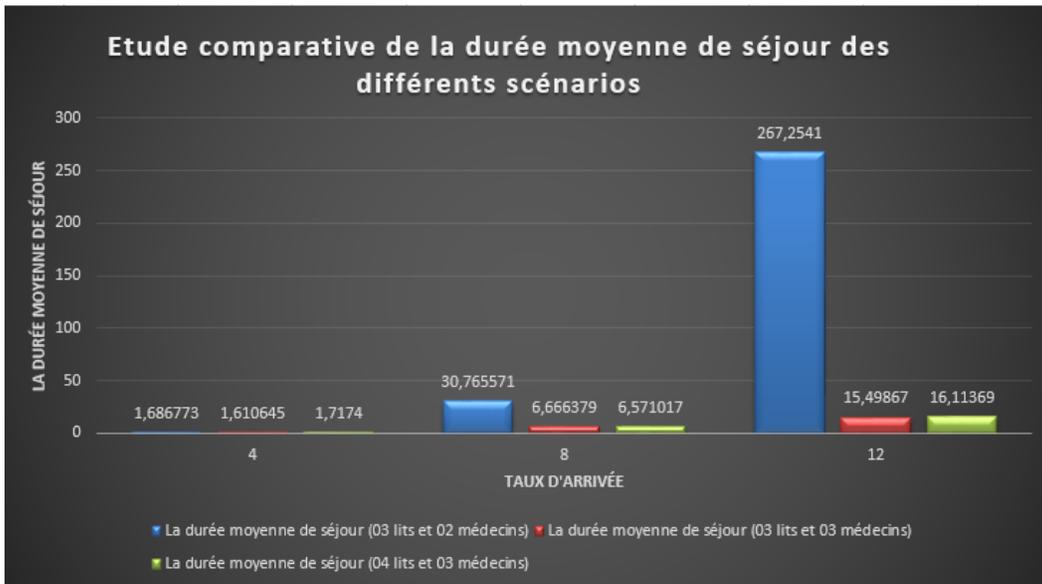


FIGURE 4.10 – Résultats des scénarios proposés : durée moyenne de séjour.

La figure 4.11 illustre les résultats obtenus de la simulation des différents scénarios concernant le nombre moyen des évacuations.

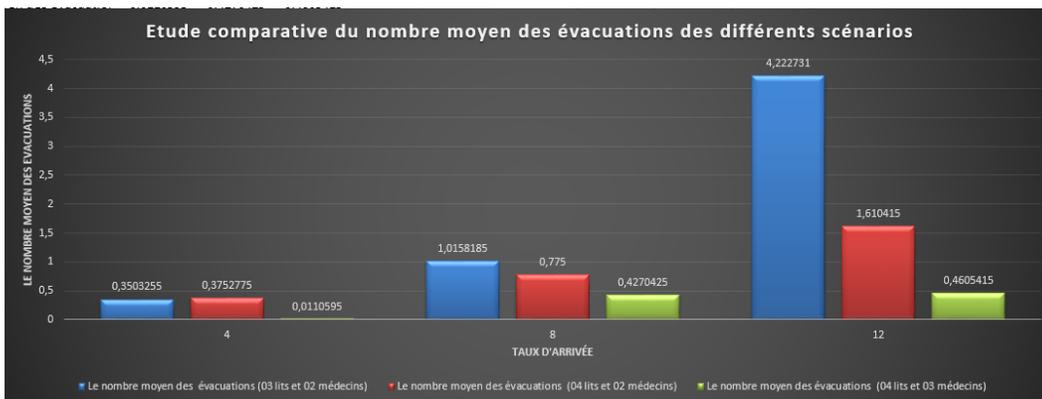


FIGURE 4.11 – Résultats des scénarios proposés : nombre moyen des évacuations.

Nous avons noté que les scénarios 1 et 2 ont contribué d’une manière significative à la diminution du temps moyen de séjour des patients, surtout lorsque

λ dépasse 8 patients par heures. Cependant, nous avons remarqué que après l'exécution du scénario 3, le nombre moyen des évacuations a diminué par l'ajout d'un lit de réanimation.

La combinaison des trois scénarios dans le scénario 4 a donné des meilleurs résultats à propos de la durée moyenne de séjour et le nombre moyen des évacuations.

4.9 Conclusion

Le modèle de simulation que nous avons proposé a été simulé à l'aide d'une plate-forme de haut niveau adaptée aux simulations multi-agents Net-Logo. Nous avons appliqué une nouvelle approche, où le chef du service a la capacité de prendre des décisions, afin de réorganiser les urgences et d'améliorer ces performances. Pour faire, différents scénarios ont été introduits et dans chaque scénario les performances du service d'urgence ont été observées.

Ce chapitre a présenté et discuté les résultats obtenus des différentes exécutions du système de simulation. Les résultats obtenus après l'exécution des scénarios 1 et 2, ont montré que l'ajout d'un médecin de consultation permet de diminuer le temps moyen de séjour des patients. De même, l'ajout d'un lit de réanimation (scénario 3) permet de diminuer le nombre moyen des évacuations.

Conclusion générale

Dans ce mémoire de fin de cycle, afin de concevoir un système qui peut aider les gestionnaires des urgences de l'hôpital de kherrata à améliorer le fonctionnement de leur service et d'améliorer la qualité et l'efficacité des soins fournis, nous avons mis en œuvre une approche d'aide à la décision basée sur la combinaison de la modélisation et la simulation à base d'agents (ABMS) et les files d'attentes. Nous avons aussi eu recours à la simulation à événements discrets ainsi que l'exploration de données.

Cette approche a été conçue sur la base d'une étude du service des urgences. En effet, nous avons effectué un stage de deux mois au sein du service des urgences de l'hôpital de Kheratta, où les paramètres initiaux sont dérivés à partir des observations directes du système, des entretiens avec le personnel du S.U ainsi qu'à partir des registres des patients.

Notre modèle de simulation à base d'agents a été implémenté et vérifié dans un environnement de modélisation programmable multi-agent NetLogo. Les expériences ont été réalisées à l'aide des simulations parallèles avec différents paramètres, deux indices différents ont été définis pour évaluer le fonctionnement du simulateur de service d'urgence basé sur des agents (le temps moyen de séjour et le nombre moyen des évacuations).

Cependant, après la comparaison des données de simulation et du système réel, des ajustements dans le modèle sont apportés afin d'obtenir à la fois, un bon niveau de similarité approprié, et un pouvoir prédictif suffisant du simulateur. Dans ce cas, nous avons proposé une nouvelle approche où le chef de service doit prendre des décisions. En cas de la pré-saturation des urgences, le chef de service peut décider de faire appel à un médecin disponible d'un autre service ou bien d'évacuer les patients non urgents qui

arrivent. Dans le cas de la saturation, le chef de service décide d'évacuer les patients qui arrivent aux urgences et de faire appel à un médecin disponible d'un autre service, afin d'améliorer les performances des urgences.

Les résultats de simulation des différents scénarios que nous avons proposé, ont montré après les avoir comparées, que le temps de séjour moyen et le nombre moyen des évacuations ont été considérablement améliorées.

La simulation à base d'agents proposée et la méthode de prise de décision peuvent être facilement mises en œuvre dans n'importe quel service d'urgence après quelques modifications.

Nous terminons cette conclusion en évoquant quelques perspectives de recherche, que nous n'avons pas pu faire à cause du temps limité :

- Compléter notre outil d'aide à la décision en exploitant les avantages qu'offrent les SMA, pour modéliser des entités pouvant interagir et communiquer dans un environnement bien défini, offrant la possibilité d'étudier la dynamique des systèmes complexes.

Bibliographie

- [1] Drogoul A. *De La Simulation Multi-Agent A La Résolution Collective de Problèmes : Une Etude De l'émergence De Structures D'Organisation Dans Les Systèmes Multi-Agents*. Thèse de doctorat en informatique, L'université Paris VI, Soutenue le 23 Novembre 1993.
- [2] Shabayek A.A and Yeung. A simulation model for the kwai chung container terminals in hong kong. *European Journal of Operational Research*, 140 N°1 :1–11, 2002.
- [3] Zeghoudi Abdelmalek and Mokhdar Alaa-Eddine. *L'utilisation de théorie des files d'attente pour la gestion du feu Tricolores*. Mémoire de master en ingénierie de production, Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, 2019/2020.
- [4] Grignard Arnaud. *Modèles de visualisation à base d'agents*. Thèse de doctorat en informatique, Université pierre et marie currie, 2015.
- [5] Macal Charles M and North Michael J. Agent-based modeling and simulation. *Winter Simulation Conference*, 1 :13, 2009.
- [6] Bourjot Christine. *Systèmes Multi-Agents : Modélisation et simulation informatique de comportements collectifs*. Un cours sur les sma, Université de Nancy 2, 1998.
- [7] Cabrera Eduardo, Taboada Manel, Iglesias Ma Luisa, Epelde Francisco, and Luque Emilio. Optimization of healthcare emergency departments by agent-based simulation. *Procedia computer science*, 4 :1880–1889, 2011.
- [8] Ferber J. *Les Systèmes Multi-Agents : vers une intelligence collective*. Interditions edition, 1995.
- [9] Ferber J. *Multi-Agent System : An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison wesley edition, 1999.

- [10] Wooldridge M. Jennings, N. R and Sycara K. A roadmap of agent research and development. *In Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1(1) :7–38, 1998.
- [11] Larsen John Bruntse. Hospital staff planning with multi-agent goals.
- [12] Wang Lu. An agent-based simulation for workflow in emergency department. *In 2009 Systems and Information Engineering Design Symposium*, pages 19–23. IEEE, 2009.
- [13] Yousefi M and Ferreira RPM. An agent-based simulation combined with group decision-making technique for improving the performance of an emergency department. *Brazilian journal of medical and biological research*, 50, 2017.
- [14] Saad Saoud Manel. *Extraction des Connaissances Temporelles de la Simulation à Base d’Agents*. Thèse de doctorat en informatique, Université de Bordj Bou Arreridj, 2016/2017.
- [15] Lim Morgan E, Andrew Worster, Goeree Ron, and Tarride Jean-Éric. Simulating an emergency department : the importance of modeling the interactions between physicians and delegates in a discrete event simulation. *BMC medical informatics and decision making*, 13(1) :1–11, 2013.
- [16] Canadian Association of Emergency Physicians (CAEP). (s.d.). Emergency department overcrowding by canadian association of emergency physicians (caep). <http://caep.ca/advocacy/romanow-commission/emergency-department-overcrowding>, (Consulté le 22 aout 2021).
- [17] Labidi S and Lejouad W. *De l’intelligence artificielle distribuée aux systèmes multi-agents*. Inria n° 2004 edition, 1993.
- [18] Railback S. F and Grimm V. *Agent-based and Individual-based Modeling : A Practical Introduction*. Princeton, new jersey : Princeton university press edition, 2012.
- [19] Sadji Safia. *Un protocole de négociation pour les système d’aide à la décision de groupe*. Mémoire de master en informatique, Université d’Oran, 02/2018.
- [20] Tahri Samira. *Analyse hydrodynamique d’un piston de Moteur à combustion interne par simulation de Système Multi Agents (SMA)*. Mémoire magister en informatique, universite hassiba ben bouali de chlef, 09/11/2016.

- [21] Naceur Tesnim. *Systèmes de files d'attente stratégique avec information contrôlée*. Thèse de doctorat en informatique, Laboratoire Informatique d'Avignon (LIA), décembre 2020.
- [22] Wilensky U. Center for connected learning and computer-based modeling, northwestern university :evanston, il usa. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>, (Consulté le 22 aout 2021).
- [23] Wilensky U and Shargel B. Behaviorspace [computer software]. evanston, il : Center for connected learning and computer based modeling, northwestern university. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/behaviorspace>, (Consulté le 10 septembre 2021).
- [24] Wilensky U and Rand W. *An introduction to agent-based modeling : modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo*. Cambridge, massachusetts : Mit press. edition, 2015.
- [25] Demazeau Yves. From intercation to collective behaviour in agent-based-systems. In *proceesings of the 1st. European Conference on Congnitive Science*, 1995.
- [26] Rexachs Dolores Zhengchun Liu, Cabrera Eduardo and Luque Emilio. A generalized agent-based model to simulate emergency departments. *The sixth International Conference on Advances in System Simulation*, 1 :6, 2014.

RÉSUMÉ

Ces dernières années, les méthodes de la modélisation et la simulation basées sur les agents ont été largement utilisées pour étudier et améliorer les systèmes complexes du monde réel tels que les systèmes de santé. Les systèmes de santé sont basés sur les interactions humaines, qui impliquent de nombreux composants différents et hétérogènes. Cependant, la conception et l'exploitation de ces systèmes, en particulier les services d'urgence qui sont l'un des éléments clés du système de santé, sont extrêmement complexes, principalement en raison du nombre élevé de ressources différentes impliquées dans les activités de soins, de l'incertitude résultant de ces activités qui se déroulent à des moments différents et de la probabilité distincte d'avoir besoin de ressources simultanément. La simulation des systèmes complexes est d'une importance considérable, un excellent outil pour traiter des systèmes complexes tels que les services des urgences et qui facilite la compréhension de ces systèmes.

L'objectif de notre mémoire est de développer un système d'aide à la décision basé sur l'intégration de la modélisation et la simulation à base d'agents ainsi que la modélisation des files d'attente pour aider les gestionnaires des urgences à choisir des stratégies et prendre des décisions adéquates et efficaces afin d'améliorer la qualité des soins fournis aux patients qui se présentent aux urgences. Cette approche combinatoire est démontrée par une étude de cas sur le fonctionnement du service des urgences de l'hôpital public de Kherrata. Les deux modèles ont été développés indépendamment, l'approche basé agents a été utilisée pour étudier des scénarios d'optimisation des ressources, En effet, différents scénarios ont été introduits et divers indicateurs clés de performances ont été étudiés. Le deuxième modèle facilite l'analyse quantitative des paramètres opérationnels urgence (par exemple, les temps d'attente, temps de service etc.). La simulation a été mise en œuvre à l'aide de NetLogo qui est un environnement de simulation générique dans le sens où il n'a pas été conçu pour un domaine d'application spécifique.

Mots clés : La modélisation et la simulation à base d'agents (ABM&S) ; La modélisation des files d'attentes ; Les systèmes d'aide à la décision ; Les services des urgences ; Plateforme NetLogo.

ABSTRACT

In recent years, agent-based modeling and simulation methods have been widely used to study and improve complex real-world systems, such as health systems. Healthcare systems are based on human interactions which involve many different and heterogeneous components. However, the design and operation of these systems, especially emergency services which are one of the key elements of the health system, are extremely complex, mainly due to the large number of different resources involved in the care activities, the uncertainty resulting from these activities taking place at different times, and the distinct probability of needing resources simultaneously. Simulation of complex systems is of considerable importance, an excellent tool for dealing with complex systems such as emergency departments and facilitates the understanding of these systems.

The objective of our dissertation is to develop a decision support system based on the integration of agent-based modeling and simulation as well as queue modeling to help emergency managers choose strategies and make appropriate and effective decisions to improve the quality of care provided to patients who present to the emergency department. This combinatorial approach is demonstrated through a case study on the functioning of the emergency department of the public hospital of Kherrata. The two models have been developed independently, the agent-based approach has been used to study resource optimization scenarios. Indeed, different scenarios have been introduced and various key performance indicators have been studied. The second model facilitates the quantitative analysis of emergency operational parameters (e.g. waiting times, service times etc.). The simulation was implemented using NetLogo which is a generic simulation environment in the sense that it was not designed for a specific application domain.

Key words : Agent-based modeling and simulation (ABM&S); Queue modeling; Decision support systems; Emergency departments; NetLogo platform.