

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MUSTAPHA Stambouli
Mascara



جامعة مصطفى أسطمبولي
معسكر

Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique

THESE de DOCTORAT LMD

Spécialité : Informatique

Option : Technologie de l'information et de la communication

Intitulée

**Modélisation et optimisation de systèmes complexes :
application aux systèmes de flux de personnes**

Présentée par : LOUHAB Zouaoui

Le 2024

Devant le jury :

Président	SALEM Mohamed	Professeur	Université M. S. de Mascara
Examineur	MEFTAH Boudjelal	Professeur	Université M. S. de Mascara
Examineur	FEKIR Youcef	MCA	Université M. S. de Mascara
Examineur	BENYAHIA Kadda	MCA	Université T. M. de Saida
Encadreur	BOUFERA Fatma	MCA	Université M. S. de Mascara

Année Universitaire : 2023-2024

***Je dédie cette thèse
À mes chers parents,
À ma famille,
À mes amis,
À toute personne qui m'aime et que j'aime,
À tous ceux qui m'ont soutenu.***

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Allah, le clément et le miséricordieux, de m'avoir donné le courage et la patience pour la réalisation de ce travail.

J'ai le privilège d'avoir le professeur BOUFERA Fatma comme encadreur de thèse. Je tiens à la remercier grandement pour ses conseils avisés, son encadrement exemplaire et ses idées, son accessibilité, sa grande disponibilité et sa gentillesse.

J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur SALEM Mohamed, professeur de l'Université Mustapha Stambouli de Mascara de m'avoir honoré en acceptant de présider le jury, à Monsieur Meftah boudjelal, professeur de l'Université Mustapha Stambouli de Mascara, à Monsieur fekir youcef, Maître de Conférences de l'Université Mustapha Stambouli de Mascara, et à Monsieur benyahia kadda, Maître de Conférences de l'Université Taher Moulay de saida, d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail et de participer au jury.

Je remercie tous les enseignants et membres de notre équipe pour leur gentillesse et leur amitié pendant ces années de thèse.

J'offre mes salutations et ma bénédiction à tous ceux qui m'ont soutenu à tous égards.

Enfin, je remercie mes parents et ma famille de m'avoir toujours soutenu mentalement, émotionnellement et physiquement durant la réalisation de cette recherche.

Modélisation et optimisation de systèmes complexes : application aux systèmes de flux de personnes

La surpopulation à l'hôpital en général et aux urgences en particulier constitue un problème majeur, parce que cela pose de nombreux problèmes pour les patients et le personnel, ce qui entraîne une augmentation des erreurs médicales, une augmentation des délais d'attente et de la durée du séjour, et des pertes pour l'hôpital. Les services d'urgence sont considérés comme nécessaires dans la société, en raison de la nécessité humaine d'en disposer à tout moment et sans rendez-vous préalable. Le service d'urgence(SU) joue un rôle efficace dans le domaine des soins de santé, en raison de la nature des services qu'il propose, notamment pour les patients présentant des cas urgents, qui nécessitent une gestion bonne et efficace, et pour les ressources qu'elle contient afin d'améliorer la qualité des services. Une bonne gestion dépend de la bonne utilisation des ressources matérielles et humaines. De nombreux chercheurs et spécialistes tentent de proposer de nombreuses solutions afin d'améliorer la qualité de service aux urgences.

Afin de trouver des solutions, les chercheurs s'appuient sur de nombreuses techniques telles que la simulation, les algorithmes d'optimisation, l'exploration de données et d'autres méthodes. Les problèmes les plus courants aux urgences sont les longs délais d'attente et la durée du séjour des patients. Le but de cette étude est de proposer des solutions pour améliorer la qualité des services aux urgences. Nous commençons cette thèse en définissant les systèmes socio-techniques, étant donné que le système de santé est un système socio-technique, puis nous rappelons certains travaux réalisés dans ce domaine pour faciliter la proposition de solutions possibles.

Nous proposons trois approches dans la première approche, le processus de modélisation du SU est réalisé à l'aide de réseaux de Petri colorés hiérarchiques. Dans la deuxième approche, le processus de modélisation du SU se fait à l'aide de réseaux de Petri colorés hiérarchiques, mais la détermination des ressources humaines nécessaire se fait à l'aide d'algorithmes L'optimisation par essais particuliers(PSO). Dans la troisième approche, le service des urgences est modélisé à l'aide de réseaux de Petri colorés réguliers, mais les ressources humaines nécessaires sont déterminées par des algorithmes génétiques. Dans toutes les approches, les résultats sont comparés sur la base d'indicateurs clés de performance. Cette étude permet une bonne maîtrise des ressources humaines au sein du service des urgences. Cette étude a été menée à l'hôpital de Sidi Bel Abbès et a donné de bons résultats qui ont conduit à une réduction des délais d'attente, et la durée du séjour.

Mots clefs : modélisation, optimisation, système complexe, simulation.

Modeling and optimization of complex systems: application to people flow systems

Overcrowding in the hospital in general and in the emergency department in particular is a major problem, as it causes many problems for patients and staff, which leads to an increase in medical errors, increased waiting times and length of stay, and thus causes losses for the hospital. Emergency services are considered necessary in society, due to the human need for them at any given time and without a prior appointment. The emergency department plays an effective role in the field of health care, due to the nature of the services its features, especially for patients with urgent cases, which requires good and effective management of the resources it contains in order to improve the quality of services. Good management depends on the good use of material and human resources.

Many researchers and specialists are trying to propose many solutions in order to improve the quality of service in the emergency department. In order to find solutions, researchers rely on many techniques such as simulation, optimization algorithms, data mining, and other methods. One of the most common problems faced by the emergency department is long waiting times and the length of the patient's stay. The goal of this study is to propose solutions to improve the quality of services in the emergency department. We begin this thesis by introducing sociotechnical systems, considering the health care system is a sociotechnical system. We list some of the work done in this field to make it easier for us to suggest feasible solutions. We propose three approaches.

In the first approach, the emergency department is modeled using hierarchical colored Petri nets. Improvement scenarios are proposed and presented to decision makers. In the second approach, the process of modeling the emergency department is done using hierarchical colored Petri nets, but determining the necessary human resources is done through PSO algorithms. In the third approach, the emergency department is modeled using regular colored Petri nets, but the necessary human resources are determined using genetic algorithms. In all approaches, the results are compared based on key performance indicators. This study allows for better control of human resources within the emergency department. This study was conducted in Sidi Bel Abbes Hospital, and it gave good results that led to reducing waiting periods and length of stay.

Keywords: modeling, optimization, complex system, simulation.

نمذجة النظم المعقدة وتحسينها: التطبيق على أنظمة تدفق الأشخاص

يعد الاكتظاظ في المستشفى بصفة عامة و في قسم الطوارئ بصفة خاصة مشكلة كبيرة، حيث يتسبب في العديد من المشاكل للمرضى والموظفين، مما يؤدي إلى زيادة الأخطاء الطبية و زيادة فترات الانتظار وطول مدة الإقامة ، وبالتالي يسبب خسائر للمستشفى.تعتبر خدمات الطوارئ ضرورية في المجتمع، نظراً لحاجة الإنسان إليها في أي وقت من الأوقات و بدون موعد مسبق.يلعب قسم الطوارئ دوراً فعالاً في مجال الرعاية الصحية، نظراً لطبيعة الخدمات التي يتميز بها، وخاصة للمرضى ذوي الحالات العاجلة، مما يتطلب إدارة جيدة و فعالة للموارد التي يحتويها و ذلك من أجل تحسين جودة الخدمات.يعتمد التسيير الحسن على الاستخدام الجيد للموارد المادية والبشرية.

يحاول العديد من الباحثين و الاختصاصيين اقتراح العديد من الحلول من أجل تحسين جودة الخدمة في قسم الطوارئ . يعتمد الباحثون من أجل إيجاد الحلول على العديد من التقنيات مثل المحاكاة و خوارزميات التحسين واستخراج البيانات وغيرها من الأساليب.من أكثر المشاكل الشائعة التي يعاني منها قسم الطوارئ هي طول فترات الانتظار وطول مدة إقامة المريض.الهدف من هذه الدراسة هو اقتراح حلول لتحسين نوعية الخدمات في قسم الطوارئ ،نبدأ هته الرسالة بالتعريف بالنظم السوسيوثقافية ،باعتبار نظام الرعاية الصحية نظام سوسيوثقافي .نسرده بعض الأعمال المنجزة في هذا المجال حتى يسهل علينا اقتراح حلول مجدية .

نقوم باقتراح ثلاث نهج ،في المنهج الأول تتم عملية نمذجة قسم الطوارئ باستخدام شبكات بتري الملونة الهرمية ،يتم اقتراح سيناريوهات التحسين و عرضها على صناع القرار.في النهج الثاني تتم عملية نمذجة قسم الطوارئ باستخدام شبكات بتري الملونة الهرمية،لكن تحديد الموارد البشرية اللازمة تتم عن طريق خوارزميات PSO. في النهج الثالث تتم عملية نمذجة قسم الطوارئ باستخدام شبكات بتري الملونة العادية ،لكن تحديد الموارد البشرية اللازمة تتم عن طريق الخوارزميات الجينية. في كل النهج تتم مقارنة النتائج بالاعتماد على مؤشرات الأداء الرئيسية .تسمح هته الدراسة بالتحكم الجيد في الموارد البشرية داخل قسم الطوارئ ،أجريت هته الدراسة في مستشفى سيدي بلعباس ،وقد أعطت نتائج حسنة أدت إلى التقليل من فترات الانتظار وطول مدة الإقامة.

الكلمات المفتاحية: النمذجة، التحسين، النظام المعقد، المحاكاة.

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
I. LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE	6
I.1 INTRODUCTION	7
I.2 SYSTEME COMPLEXE.....	7
<i>I.2.1 DEFINITION</i>	<i>7</i>
<i>I.2.2 COMPORTEMENT.....</i>	<i>8</i>
<i>I.2.3 EXEMPLES.....</i>	<i>8</i>
I.3 SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES	8
<i>I.3.1 DEFINITION (PROBLEME D'OPTIMISATION)</i>	<i>8</i>
<i>I.3.2 LES PROBLEMES DANS LES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES</i>	<i>8</i>
<i>I.3.3 RESILIENCE DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES.....</i>	<i>9</i>
<i>I.2.3.1 DEFINITION DE LA RESILIENCE</i>	<i>9</i>
<i>I.2.3.2 LA RESILIENCE DANS LES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES</i>	<i>10</i>
I.4 SYSTEME DE SOINS DE SANTE.....	11
<i>I.4.1 DEFINITION DE LA SANTE</i>	<i>11</i>
<i>I.4.2 LE SYSTEME DE SANTE.....</i>	<i>11</i>
<i>I.4.3 DIMENSIONS DU SYSTEME DE SANTE</i>	<i>11</i>
<i>I.4.4 NIVEAUX DES SYSTEMES DE SANTE</i>	<i>12</i>
<i>I.4.5 TYPES DE SYSTEME DE SANTE.....</i>	<i>12</i>
I.5 LE SYSTEME DE SANTE ALGERIEN.....	13
<i>I.5.1 SYSTEME DE SANTE PUBLIQUE</i>	<i>14</i>
<i>I.5.2 SYSTEMES DE SANTE PRIVEE.....</i>	<i>15</i>
<i>I.5.3 HOPITAUX PUBLICS</i>	<i>15</i>
<i>I.5.4 SERVICES</i>	<i>16</i>
I.6 LE SERVICE D'URGENCE : SYSTEME SOCIOTECHNIQUE.....	17
<i>I.6.1 DEFINITION.....</i>	<i>17</i>
<i>I.6.2 CARACTERISTIQUES</i>	<i>18</i>
<i>I.6.3 LES SERVICES D'URGENCE ACTUELS</i>	<i>18</i>
<i>I.6.4 LES PROBLEMATIQUES ORGANISATIONNELLES DES SERVICES D'URGENCE</i>	<i>19</i>
<i>I.6.4.1 L'UTILISATION ACCRUE DES SERVICES D'URGENCE</i>	<i>20</i>
<i>I.6.4.2 PROBLEMES AUX URGENCES</i>	<i>20</i>

I.5.4.3 ACTIVITE MEDICALE AU SERVICE DES URGENCES	21
I.7 CONCLUSION	22
II UN ETAT DE L'ART	23
II.1 INTRODUCTION	24
II.2 LES TECHNIQUES DE MODELISATION	24
II.2.1 CHAINE DE MARKOV	24
II. 2.1.1 PRINCIPES	25
II. 2.1.2 TYPES DE CHAINES DE MARKOV	25
II. 2.1.3 TRANSITIONS.....	25
II.2.1.4 EXEMPLE DE CHAINE DE MARKOV	26
II. 2.1.5 APPLICATIONS DES CHAINES DE MARKOV DANS LE DOMAINE DE LA SANTE	27
II.2.2 THEORIE DES FILES D'ATTENTE	27
II.2.2.1 NŒUDS A FILE D'ATTENTE UNIQUE.....	28
II.2.2.2 PROCESSUS NAISSANCE-MORT	29
II. 2.2.3 APPLICATIONS DE LA THEORIE DES FILES D'ATTENTE DANS LE DOMAINE DE LA SANTE	30
II. 2.3 LE LANGAGE DE MODELISATION UNIFIE	30
II.2.3.1 DIAGRAMMES DE COMPORTEMENT.....	31
II.2.3.2 DIAGRAMMES DE STRUCTURE OU DIAGRAMMES STATIQUES	32
II.2.3.3 APPLICATIONS UML DANS LE DOMAINE DE LA SANTE.....	33
II.3 LES TECHNIQUES D'OPTIMISATION	34
II.3.1 QU'EST-CE QUE L'OPTIMISATION.....	34
II.3.2 LES METHODES D'OPTIMISATION.....	35
II.3.2.1 ALGORITHME GENETIQUE.....	35
II.3.2.1.1 MECANISME DE FONCTIONNEMENT.....	35
II.3.2.1.2 APPLICATIONS DES ALGORITHMES GENETIQUES AUX SOINS DE SANTE.....	37
II.3.2.2 RECUIT SIMULE.....	37
II.3.2.2.1 APPLICATION DU RECUIT SIMULE DANS LES SOINS DE SANTE.....	38
II.3.2.3 ALGORITHME DE COLONIES DE FOURMIS	38
II.3.2.3.1 APPLICATION DES ALGORITHMES DE COLONIES DE FOURMIS DANS LES SOINS DE SANTE	39
II.4 CONCLUSION	39

III MODELISATION DU SYSTEME DES URGENCES A L'AIDE D'UN RESEAU DE PETRI COLOREE	40
III.1 INTRODUCTION.....	41
III.2 RESEAU DE PETRI.....	41
III.2.1 PRINCIPES DE BASE DU RESEAU DE PETRI.....	42
III.2.2 DEFINITION FORMELLE.....	42
III.2.3 LES ELEMENTS DE BASE D'UN RESEAU DE PETRI	43
III.2.4 RESEAUX DE PETRI MARQUES.....	43
III.2.5 ACTIVATION ET DECLENCHEMENT DE LA TRANSITION	44
III.2.6 PROPRIETES DES RESEAUX DE PETRI.....	44
III.2.6.1 PROPRIETES COMPORTEMENTALES	44
III.2.6.2 PROPRIETES STRUCTURELLES	46
III.2.6.3 AVANTAGES DES RESEAUX DE PETRI	46
III.2.7 EXTENSIONS DU RESEAU DE PETRI	47
III.2.7.1 LES RESEAUX DE PETRI TEMPORISES	47
III.2.7.2 RESEAUX DE PETRI COLORES	48
III.2.7.3 RESEAUX DE PETRI COLORES HIERARCHIQUES	49
III.2.7.4 LANGAGE ML DE RESEAU DE PETRI COLORE	50
III. 2.7.4.1 JEUX DE COULEURS(COLOUR SETS)	52
III.2.7.4.2 LES EXPRESSIONS ET LEURS TYPES	52
III.2.7.4.3 LES FONCTIONS	53
III.2.8 LES OUTILS RDPC	53
III.3 LES RESEAUX DE PETRI DANS LE DOMAINE DE LA SANTE	55
III.4 L'APPROCHE PROPOSEE	56
III.4.1 PRESENTATION DU SITE D'EXPERIMENTATION (SERVICE DES URGENCES , HOPITAL HASSANI ABDELKADER SIDI BEL ABBES).....	56
III.4.2 PERSONNEL MEDICAL DU SERVICE DES URGENCES	57
III.4.3 FLUX DE PATIENTS	57
III.4.4 LES INDICATEURS CLES DE PERFORMANCE.....	58
III.4.5 COLLECTE DE DONNEES	59
III.4.6 MODELISATION DES OPERATIONS AU NIVEAU DES SERVICES D'URGENCE	60
III.4.6.1 LA PAGE PRINCIPALE DU MODELE DE SIMULATION	63

III.4.6.2 SCENARIOS D'AMELIORATION SUGGERES	71
III.4.6.3 DISCUSSION SUR LES RESULTATS	72
III.5 CONCLUSION	73
IV L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE	74
IV.1 INTRODUCTION.....	75
IV.2 UNE APPROCHE BASEE SUR LES RESEAUX DE PETRI COLORES ET L'ALGORITHME PSO:.....	75
IV.2.1 L'OPTIMISATION PAR ESSAIMS PARTICULAIRES (PSO)	75
IV.2.1.1 STRUCTURE ALGORITHMIQUE PSO.....	76
IV.2.1.2 PSEUDO CODE	76
IV.2.1.3 SELECTION DES PARAMETRES.....	78
IV.2.1.4 LA CONVERGENCE	78
IV.2.1.5 APPLICATIONS DU PSO DANS LE DOMAINE DE LA SANTE	78
IV.2.2 L'APPROCHE PROPOSEE	79
IV.2.2.1 LE MODELE MATHEMATIQUE.....	79
IV.2.2.2 L'ALGORITHME TIME_RR PROPOSE.....	81
IV.2.2.3 MODELE DE SIMULATION DU SERVICE D'URGENCE.....	81
IV.2.2.4 DETERMINER LES RESSOURCES A L'AIDE DE L'ALGORITHME PSO.....	84
IV.2.2.5 CHOIX DES PARAMETRES DE L'ALGORITHME PSO	84
IV.2.2.6 RESULTATS DE LA SIMULATION ET DISCUSSION	84
IV.3 UNE APPROCHE BASEE SUR LES RESEAUX DE PETRI COLORES ET LES ALGORITHMES GENETIQUES.....	85
IV.3.1 L'ALGORITHME GENETIQUE (AG)	85
IV.3.2 PROBLEMES D'OPTIMISATION	86
IV.3.3 LES SIX ETAPES DE L'ALGORITHME GENETIQUE	88
IV.3.4 APPLICATIONS LES ALGORITHMES GENETIQUES DANS LE DOMAINE DE LA SANTE.....	89
IV.3.5 L'APPROCHE PROPOSEE	90
IV.3.5.1 ORGANIGRAMME DE GESTION DES PATIENTS.....	90
IV.3.5.2 MODELE DE SIMULATION SIMPLIFIE	91
IV.3.5.3 IDENTIFICATION DES RESSOURCES A L'AIDE DE L'ALGORITHME GENETIQUE	91
IV.3.5.4 CHOIX DES PARAMÈTRES DE L'ALGORITHME GÉNÉTIQUE	92

<i>IV.3.5.5 RESULTATS DE SIMULATION ET DISCUSSION:</i>	93
<i>IV.4. CONCLUSION:</i>	98
CONCLUSION GENERALE	99
BIBLIOGRAPHIE	103
ANNEXE – LISTES DES ABREVIATIONS ET DES ALGORITHMES	115
ANNEXE – PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES	116

LISTE DES FIGURES

FIGURE I-1 FINANCEMENT, PRESTATION DE SERVICES ET REGLEMENTATION DES SYSTEMES DE SOINS DE SANTE.	12
FIGURE I-2 TYPES DE SYSTEME DE SANTE.....	13
FIGURE I-3 LES COMPOSANTES DU SYSTEME DE SANTE ALGERIEN.....	14
FIGURE I-4 LES PRINCIPAUX DEFIS AUXQUELS SONT CONFRONTES LES HOPITAUX.	17
FIGURE I-5 LES PROBLEMES LES PLUS IMPORTANTS AU SERVICE DES URGENCES.....	21
FIGURE II-1 REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA MATRICE DE TRANSITION.	26
FIGURE II-2 NŒUDS DE FILE D'ATTENTE UNIQUES.	28
FIGURE II-3 UN NŒUD DE FILE D'ATTENTE AVEC 3 SERVEURS.....	29
FIGURE II-4 UN PROCESSUS DE NAISSANCE-MORT.....	29
FIGURE II-5 UNE FILE D'ATTENTE AVEC 1 SERVEUR	30
FIGURE II-6 DIAGRAMME UML PAR CATEGORIE.	31
FIGURE II-7 EXEMPLE DE REPRESENTATION GRAPHIQUE D'UNE FONCTION OBJECTIF(MARTIN ET AL., 2011)	34
FIGURE II-8 LES ETAPES DU PROCESSUS D'OPTIMISATION (MARTIN ET AL., 2011).....	35
FIGURE II-9 LES TECHNIQUES D'OPTIMISATION.	36
FIGURE III-1 EXEMPLE DE RESEAU DE PETRI	42
FIGURE III-2 LES ELEMENTS DE BASE D'UN RESEAU DE PETRI.....	43
FIGURE III-3 EXEMPLE DE RESEAU DE PETRI.	45
FIGURE III-4 EXEMPLE DE RESEAU DE PETRI TEMPORISES.	47
FIGURE III-5 EXEMPLE DE RESEAU DE PETRI COLORES (RIZWAN ET AL., 2021).....	49
FIGURE III-6 EXEMPLE DE RESEAU DE PETRI COLORESHIERARCHIQUE-PAGE PRINCIPALE (JENSEN ET AL., 2007).....	50
FIGURE III-7 EXEMPLE DE RESEAU DE PETRI COLORESHIERARCHIQUE-SOUS-PAGE DE LA PAGE PRINCIPALE(JENSEN ET AL., 2007)	50
FIGURE III-8 EXEMPLE DE JEUX DE COULEURS	52
FIGURE III-9 EXEMPLE D'EXPRESSIONS	53
FIGURE III-10 CAPTURE D'ECRAN DES OUTILS RDPC	55
FIGURE III-11 PARCOURS DU PATIENT A L'INTERIEUR DU SERVICE DES URGENCES	59
FIGURE III-12 LE POURCENTAGE DE CAS AU SERVICE DES URGENCES	61

FIGURE III-13 EXEMPLE DE PLACES	61
FIGURE III-14 EXEMPLE DE TRANSITIONS	62
FIGURE III-15 EXEMPLE DE COULEUR-SETS ET VARIABLES	62
FIGURE III-16 EXEMPLE DES ARCS.	62
FIGURE III-17 LE MODELE PRINCIPAL DU MODELE DE SIMULATION	64
FIGURE III-18 PAGE DU PROCESSUS DE TRIAGE DE LA TRANSITION DE SUBSTITUTION TRIAGE DANS LE MODELE DE SIMULATION PRINCIPAL	68
FIGURE III-19 PAGE DE CONSULTATION MEDICALE DE TRANSITION DE SUBSTITUTION MC DANS LE MODELE DE SIMULATION PRINCIPAL	68
FIGURE III-20 PAGE URGENCE VITALE DE LA TRANSITION DE SUBSTITUTION VE DANS LE MODELE DE SIMULATION PRINCIPAL	69
FIGURE III-21 PAGE DE RESULTATS DES TESTS PRELIMINAIRES DE LA TRANSITION DE SUBSTITUTION PTR DANS LE MODELE DE SIMULATION PRINCIPAL	69
FIGURE III-22 PAGE DU SCANNER DE TRANSITION DE SUBSTITUTION SCANNER DANS LE MODELE DE SIMULATION PRINCIPAL	70
FIGURE III-23 FIN DE VISITE PAGE DE SUBSTITUTION TRANSITION FIN DE VISITE DANS LE MODELE DE SIMULATION PRINCIPAL.	70
FIGURE IV-1 LE SCHEMA DE BASE DE PSO (GAD 2022).....	77
FIGURE IV-2 PAGE PRINCIPALE DU MODELE DE SIMULATION ED UTILISANT UN RESEAU DE PETRI COLORE.	82
FIGURE IV-3 SOUS-PAGE DE LA TRANSITION DE SUBSTITUTION (TRANSFERT 1).	83
FIGURE IV-4 SOUS-PAGE DE LA TRANSITION DE SUBSTITUTION (TRANSFERT 2).	83
FIGURE IV-5 ORGANIGRAMME DU PROCESSUS DANS L'ALGORITHME GENETIQUE(ALBADR ET AL., 2020)	87
FIGURE IV-6 UN EXEMPLE DE CHROMOSOME ET DE GENES	88
FIGURE IV-7 UN EXEMPLE DE CROISEMENT.	89
FIGURE IV-8 PARCOURS DU PATIENT AUX URGENCES.	91
FIGURE IV-9 MODELE DE SIMULATION UTILISANT DES RESEAUX DE PETRI COLORES POUR SE..	94

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I-1 RESILIENCE ET DOMAINES D'APPLICATION.....	10
TABLEAU 0-1 LES DIFFERENTES INSTANCES DE PROCESSUS DE MARKOV.....	25
TABLEAU II -2 LES DIAGRAMMES DE COMPORTEMENT.....	32
TABLEAU II -3 LES DIAGRAMMES STRUCTURELS.....	33
TABLEAU III -1 LES ÉLÉMENTS DU SERVICE DES URGENCES.....	57
TABLEAU III -2 LES FONCTIONS DE DISTRIBUTION D'ENTREE DE SIMULATION.....	60
TABLEAU III-3 DESCRIPTION LES PLACES DE LA PAGE PRINCIPALE DU MODELE DE SIMULATION	65
TABLEAU III-4 DESCRIPTION LES TRANSITIONS DE LA PAGE PRINCIPALE DU MODELE DE SIMULATION.....	66
TABLEAU III-5 COLOUR SETS ET VARIABLES DU MODELE DE SIMULATION.....	67
TABLEAU III-6 DONNEES REELLES ET DONNEES DE SIMULATION.....	71
TABLEAU III-7 RESULTATS DE SIMULATION POUR LES SCENARIOS PROPOSES.....	72
TABLEAU IV-1 PARAMETRES DU MODELE MATHEMATIQUE.....	80
TABLEAU IV-2 RESULTATS DE L'EXECUTION DE L'ALGORITHME PSO.....	85
TABLEAU IV-3 RESULTATS DE SIMULATION POUR LES MODELES PROPOSES.....	86
TABLEAU IV-4 DESCRIPTION DES PLACES DE MODELE DE SIMULATION.....	95
TABLEAU IV-5 DESCRIPTION DES TRANSITIONS DE MODELE DE SIMULATION.....	95
TABLEAU IV-6 RESULTATS DE SIMULATION POUR LES MODELES PROPOSES.....	96
TABLEAU IV-7 PREMIERE EXECUTION DE L'ALGORITHME GA.....	97
TABLEAU IV-8 DEUXIEME EXECUTION DE L'ALGORITHME GA.....	97
TABLEAU IV-9 TROISIEME EXECUTION DE L'ALGORITHME GA.....	97

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction

La surveillance des flux de personnes est devenue de plus en plus importante pour atténuer les catastrophes secondaires résultant d'une mauvaise gestion de telles situations, afin d'alléger la congestion dans divers systèmes sociotechniques. Les décideurs ont besoin d'une compréhension globale du flux de personnes, afin de pouvoir fournir des conditions sûres et confortables et développer les structures de ces systèmes, afin d'améliorer la qualité des services. Ces dernières années, le monde a été témoin de changements majeurs et rapides au niveau de tous les domaines industriels, économiques, sanitaires et autres. Le secteur de la santé appartient au groupe des systèmes sociotechniques qui ont subi une grande partie de ces changements, c'est un secteur très important dans les sociétés, qui fait l'objet d'une grande attention de la part des chercheurs et des décideurs. A la lumière des récents changements auxquels le monde est témoin, il nécessite un changement constant et continu dans les différentes structures du secteur de la santé, en afin d'élever le niveau des services fournis dans le secteur. L'hôpital est considéré comme l'un des éléments les plus importants du système de santé, car il est confronté à de grands défis pour fournir un service de haute qualité.

Les hôpitaux sont des organisations sociotechniques et des systèmes complexes, caractérisés par la diversité des techniques de travail, les particularités de l'activité médicale et la relation entre le personnel soignant et les patients. Toutes ces caractéristiques ont contraint les systèmes de santé à reconsidérer leur politique de gestion hospitalière, afin pour élever le niveau des services fournis aux patients. Le flux de patients est le mouvement des patients dans un hôpital et implique les soins médicaux, les ressources physiques et les systèmes internes nécessaires pour déplacer les patients du point d'admission au point de sortie tout en maintenant la qualité et la satisfaction des patients. L'amélioration du flux des patients est un élément essentiel de la gestion des opérations dans les hôpitaux et autres établissements de santé.

Le flux de patients est principalement associé aux hôpitaux, en particulier à la surpopulation des services d'urgence et aux processus de sauvegarde et de planification inefficaces dans les services de chirurgie. Une mauvaise gestion du flux de patients dans les hôpitaux entraîne des résultats négatifs, notamment une augmentation des taux de réadmission et de mortalité. Le service des urgences (SU) est un élément essentiel d'un hôpital qui doit fournir des services médicaux aux patients qui arrivent constamment sans rendez-vous. Des problèmes de flux de patients surviennent souvent au service des urgences. Le débordement de patients peut perturber le flux de travail du service des urgences, en particulier lorsque des patients non gravement malades utilisent le service des urgences comme source de soins primaires. Un encombrement important peut entraîner de longs délais d'attente, des sorties retardées, le détournement des ambulances vers d'autres hôpitaux et le départ des patients sans les voir un docteur.

Dans cette thèse, nous étudierons le service des urgences de l'hôpital, qui est considéré comme la principale porte d'entrée. Les services d'urgence ont le souci d'améliorer la qualité des soins qui se heurtent à de nombreuses difficultés organisationnelles. La phase de modélisation est importante pour étudier des systèmes aussi complexes, il est donc nécessaire

de s'appuyer sur elle pour fournir une vision claire et détaillée de tels systèmes, Fournir aux décideurs du service des urgences de nombreuses solutions et améliorations. Dans cette étude, nous tentons de réduire les délais d'attente et la durée de séjour d'un patient aux urgences, en appuyant sur des indicateurs clés de performance (KPI), ces derniers étant utilisés pour évaluer la performance des urgences.

Les KPI sont très importants non seulement dans les mesures de performance mais aussi dans l'identification des lacunes à différentes étapes au sein du SU. Après le processus de modélisation, nous passons à l'étape d'utilisation de techniques de simulation afin de valider le modèle, puis nous passons ensuite à l'étape d'optimisation, au cours de laquelle nous essayons d'employer des algorithmes appropriés.

Contexte et problématique

La surpopulation des services d'urgence est un phénomène répandu dans les hôpitaux algériens et entraîne un impact négatif majeur qui s'étend à l'ensemble de l'hôpital. Cette surpopulation entraîne un certain nombre de conséquences pouvant affecter la qualité des soins et le nombre de ressources disponibles. Dans la plupart des cas, cela entraîne une augmentation du nombre de personnes à l'intérieur du service des urgences, une augmentation du taux de mortalité et une diminution de la capacité de fournir des services en temps opportun aux patients souffrant de maladies graves. La surpopulation amène les services d'urgence à atteindre leur capacité maximale, et parfois à la dépasser. Le principal problème auquel sont confrontés les services d'urgence est les longs délais d'attente pour les patients à différentes étapes, ce qui entraîne un séjour prolongé des patients, ce qui affecte la qualité des soins et la satisfaction des patients.

Objectifs et contributions

Les facteurs les plus importants qui contribuent au surpeuplement sont le nombre de patients qui arrivent, le temps nécessaire pour traiter les patients et le nombre de patients qui quittent le service des urgences. Une mauvaise gestion de ces facteurs entraîne de longs délais d'attente et une augmentation des taux de mortalité. La résolution de tels problèmes nécessite une bonne étude. De nombreux chercheurs se sont appuyés sur de nombreuses méthodes et techniques pour résoudre ces problèmes, et ont utilisé le processus de modélisation, qui est une méthode puissante et efficace utilisée pour résoudre de nombreux problèmes dans des systèmes dynamiques complexes. En plus de la modélisation, de nombreux algorithmes d'optimisation ont été utilisés. Dans cette thèse, nous avons essayé d'intégrer la technique de modélisation à des algorithmes d'optimisation et nous avons obtenu de bons résultats.

Les approches proposées

Dans cette étude, nous avons proposé trois approches, la première approche est basée sur la modélisation, les deuxième et troisième approches utilisent la modélisation avec des algorithmes d'optimisation (algorithmes génétiques, algorithmes PSO).

➤ La Première approche :

Dans cette approche, nous avons choisi des réseaux de Petri colorés hiérarchiques (RPCH) comme modèle mathématique pour modéliser divers

processus au niveau des services d'urgence. Les réseaux de Petri colorés(RDPC) sont utilisés pour modéliser des systèmes complexes et concurrents. Les outils de RDPC sont utilisés en simulation, pour simuler le flux des patients et apporter des ajustements au système avant de l'implémenter dans son environnement réel. Tout d'abord, nous construisons un modèle de simulation de notre SU, en utilisant les outils de réseaux de Petri colorés. Des simulations sont exécutées et les résultats obtenus sont comparés aux données collectées. Plusieurs scénarios d'amélioration sont ensuite proposés. Chaque fois que les résultats sont comparés au modèle standard, le scénario approprié est identifié à partir de plusieurs indicateurs clés de performance. Ces travaux ont été présentés à travers un article scientifique et publiés dans une revue internationale(Louhab et al., 2022).

➤ La deuxième approche :

Dans cette approche, nous avons également utilisé un RCPH pour le même SU, tout en modifiant la structure du modèle du SU. Cette étude a été menée au début de la fin de la pandémie de Corona, car nous avons constaté une diminution significative de la pression que subissait le service des urgences. Une étude bonne et précise a été menée sur les différentes opérations qui se font au niveau du service des urgences.

L'algorithme PSO a été appliqué pour déterminer les ressources humaines en calculant la durée du séjour (LOS). Sur la base des résultats obtenus grâce à l'algorithme PSO, trois modèles de simulation différents sont construits, chaque modèle en fonction de ses propres ressources. Le modèle approprié est sélectionné à partir des résultats LOS et door-to-doctor time (DTDT) obtenus. Ce travail a été présenté lors d'une conférence internationale(Louhab et al., 2023).

➤ La Troisième approche :

Dans cette approche, nous avons également utilisé un RdPC régulière et non hiérarchique pour le même SU, modifiant ainsi la structure du modèle de SU par rapport à l'approche précédente. Cette étude a été menée à la fin de la pandémie de Corona. Cette fois, l'application d'un algorithme génétique(AG) a été utilisée pour déterminer le nombre de ressources humaines nécessaires à ajouter pour modifier le modèle de simulation. L'algorithme génétique est exécuté plusieurs fois et à chaque fois de nouvelles valeurs pour LOS et DTDT sont obtenues. le modèle de simulation est modifié et réexécuté, Et comparer les résultats avec le modèle standard. Ce travail a été présenté sous forme d'article scientifique et publié dans une revue internationale (Louhab et al., 2023).

Structure de la thèse

Cette thèse se compose de six chapitres. Une introduction générale au problème est donnée dans le premier chapitre.

Dans le deuxième chapitre, nous expliquerons en détail le système socio-technique en général, et ferons la lumière sur les organismes de santé, notamment les hôpitaux algériens, et leurs missions. En fin de chapitre, nous aborderons également les services d'urgence en présentant leurs principales fonctions et problèmes dont ils souffrent. Dans le troisième chapitre, nous faisons référence à certains travaux et à la littérature sur divers travaux menés dans le domaine des soins de santé, notamment les techniques de modélisation, les algorithmes d'optimisation et d'autres moyens.

Dans le chapitre quatre, nous fournissons une explication détaillée de l'approche proposée, utilisant la modélisation et la simulation, à l'aide de réseaux de Petri colorés, puis nous expliquons en détail les résultats obtenus. Dans le chapitre cinq, nous présentons deux approches différentes, la première basée sur le RDPCH et l'algorithme PSO, tandis que la seconde s'appuie sur le RDPC et l'algorithme génétique. Enfin, la thèse sera conclue par une conclusion générale, présentant certaines perspectives futures pour cette recherche.

CHAPITRE I :

***LA GESTION DES SYSTEMES
SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES
SERVICES D'URGENCE***

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

I.1 INTRODUCTION

Le commandement et la gestion constituant l'infrastructure permettant de gérer tout système dynamique complexe doté de ressources importantes(Walker et al., 2008). Avec les changements rapides dans divers domaines ces dernières années, il faut que les systèmes sociotechniques dans divers secteurs en général et le secteur de la santé en particulier améliorent la qualité des services et augmentent la production avec moins de ressources (Woo & Vicente, 2003). Aujourd'hui, l'amélioration continue de la production et de la qualité nécessite de relever de nombreux défis tels que des ressources limitées. Ces conditions ont conduit à des systèmes complexes de plus en plus complexes qu'ils ne l'étaient par le passé(Vicente et al., 2003).

Les hôpitaux sont des organisations sociales et techniques, ainsi que des systèmes complexes. Cette complexité tient aux caractéristiques de ces systèmes, à la diversité des techniques d'actions et des spécificités de l'activité médicale, et à la relation entre le personnel soignant et les patients(Ajmi et al., 2015). Ces conditions ont obligé les systèmes de santé à restructurer les hôpitaux, en tenant compte des processus opérationnels, en modernisant les infrastructures et en modifiant la stratégie de travail(Daknou et al., 2011).

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord quelques définitions des systèmes sociotechniques, puis soulignons certains des problèmes dont souffrent ces systèmes. Après cela, nous prenons un échantillon de ces systèmes, à savoir le système de santé, exactement en Algérie, et comme échantillon du système de santé, nous nous concentrons sur les hôpitaux, qui ont un rôle majeur dans les sociétés. Parmi les services fournis par l'hôpital figurent les services d'urgence. Le service des urgences joue un rôle majeur dans l'hôpital. Dans la section suivante, nous évoquons les services d'urgence et quelques problèmes d'organisation, les problèmes que les patients et le personnel médical souffrent dans le service des urgences. Nous terminons ce chapitre par une conclusion.

I.2 SYSTEME COMPLEXE

I.2.1 DEFINITION

Un système complexe est un ensemble constitué d'un grand nombre d'entités en interaction dont l'intégration permet d'achever un but commun . Les systèmes complexes sont caractérisés par des propriétés émergentes qui n'existent qu'au niveau du système et ne peuvent pas être observées au niveau de ses constituants.

Dans certains cas, un observateur ne peut pas prévoir les rétroactions ou les comportements ou évolutions des systèmes complexes par le calcul, ce qui amène à les étudier à l'aide de la théorie du chaos(Zelinka & Burguillo 1998).

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

I.2.2 COMPORTEMENT

Un système complexe présente la plupart des comportements suivants :

- ✓ auto-organisation et émergence de propriétés ou de structures cohérentes, apparition de motifs .
- ✓ robustesse locale et fragilité à moyenne échelle : puisqu'il y a de nombreux liens , si un élément est affecté par un événement extérieur ses voisins le seront aussi.
- ✓ Symétrie brisée : la connaissance d'une partie du système ne permet pas d'affirmer que le reste du système est en moyenne dans le même état
- ✓ plusieurs comportements possibles sont en compétition, certains sont simples, d'autres chaotiques.

I.2.3 EXEMPLES

- Une colonie de fourmis échange des phéromones et bâtit une fourmilière, mais aucune fourmi n'a conscience de la fourmilière.
- La bourse voit des courtiers effectuer des transactions, qui créent des phénomènes globaux tels que bulles ou krachs.
- Une entreprise est un ensemble de personnes et d'organisations qui interagissent entre elles, et qui interagit par ailleurs avec son environnement par l'intermédiaire de ses parties prenantes.

I.3 SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES

I.3.1 DEFINITION (PROBLEME D'OPTIMISATION)

Le concept du système sociotechnique(ST) a émergé au début des années 1950, avec les recherches des chercheurs de l'Institut Tavistock. Cependant, ce domaine n'était pas très apprécié dans les années 1960 et 1970, mais dans les années 1980, le "mouvement" sociotechnique a refait surface(Hettinger et al., 2015).

Fischer et Herrmann définit le ST comme un ensemble d'individus, de programmes et de dispositifs organisés, interopérables dans un environnement spécifique, avec des tâches conçues pour lui(Fischer & Herrmann, 2011).

Une autre définition a été proposée par Adger où il a exprimé le ST comme l'union d'outils, de machines, d'opérations, de financements et de procédures, avec des personnes, pour effectuer une ou plusieurs tâches(Adger et al., 200).

I.3.2 LES PROBLEMES DANS LES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES

Récemment, les systèmes sociotechniques sont devenus de plus en plus complexes, donnant lieu à de nouveaux types d'accidents et de dysfonctionnements (Qureshi et al., 2007). Des situations imprévues, des vulnérabilités inconnues ou des interdépendances cachées résultant

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

du fonctionnement de ces systèmes peuvent compromettre leurs performances (Simonette et al., 2019).

Elle nécessite que les systèmes sociotechniques s'adaptent et répondent à tout moment à des situations inattendues. Ces situations résultent de l'association de plusieurs causes et facteurs qui existent dans le cadre de leur utilisation (Simonette et al., 2018). Parmi ces facteurs, nous citons les suivants :

- Facteurs naturels :Les systèmes sociotechniques sont exposés à des aléas naturels aléatoires tels que tremblements de terre, inondations, incendies et autres catastrophes, qui causent de graves dommages à la société et à l'environnement.
- Facteurs humains:Le facteur humain cause de nombreux problèmes au sein des systèmes socio-techniques, pour plusieurs raisons telles que l'incompétence, les erreurs professionnelles répétées, la falsification et d'autres raisons.
- Facteurs technologiques :Ce sont les facteurs résultant des risques technologiques majeurs, tels que la mobilisation ou le transport de produits dangereux, l'effondrement des barrages, l'industrie nucléaire, les perturbations des réseaux électriques, et d'autres risque.

I.3.3 RESILIENCE DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES

Les systèmes sociotechniques se caractérisent par l'interconnexion des institutions, des personnes, des infrastructures électroniques et des sociétés (Baxter & Sommerville, 2011).Ces interconnexions sont intentionnelles, prises en compte lors de la conception du système. Cependant, des corrélations inattendues peuvent se produire, principalement en raison des valeurs, des désirs et des intentions des gens (Simonette et al., 2018).Ces systèmes sont compromis dans leur fonctionnement par des faiblesses inconnues, des événements inattendus ou des interdépendances cachées. Les systèmes sociotechniques doivent faire face à l'adversité et s'en remettre , ce qui est l'avantage Critique pour la résilience dans les systèmes sociotechniques.

I.3.3.1 DEFINITION DE LA RESILIENCE

La résilience est un terme à plusieurs sens, qui varie dans le détail d'un domaine à l'autre.Dans Wikipédia, on trouve par exemple les définitions suivantes du concept de résilience : la résilience en économie est la capacité revenir à la trajectoire de croissance après avoir vécu un traumatisme ; En écologie, la résilience est la capacité d'un écosystème ou d'une espèce à retrouver un fonctionnement et/ou un développement normal après avoir subi un choc ; En psychologie, la résilience est la capacité d'une personne ou d'un groupe à bien se développer, et à continuer à se projeter dans l'avenir, malgré des conditions de vie difficiles, des événements déstabilisants , et des traumatismes parfois sévères.

I.3.3.2 LA RESILIENCE DANS LES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES

Les systèmes sociotechniques sont des systèmes comme les autres, qui peuvent être définis à l'aide de la définition standard du système : « Un système peut être défini comme un ensemble d'éléments en interrelation entre eux et avec l'environnement ». Il est possible de décrire le fonctionnement d'un système même si les composants individuels sont inconnus (von et al., 2015) . Le concept de systèmes sociotechniques a été développé en utilisant une hypothèse de la théorie générale des systèmes (Eby et al., 2000). Il reconnaît que le comportement du système dépend de la relation entre les humains, les organisations et les technologies.

Tableau I-1 Résilience et domaines d'application.

Définition de la résilience	Références
La résilience est la capacité d'un système ou d'une organisation à réagir et à récupérer après une perturbation, avec un minimum d'effet sur la stabilité dynamique du système	(Hollnagel et al., 2006)
la sûreté et les risques ne peuvent pas être prédits ou modélisés sur la base des composants et de leurs interactions	(Dekker, 2006)
on peut mesurer seulement le potentiel de résilience, mais non la résilience elle-même	(Hollnagel et al., 2006)
la résilience n'est pas seulement la capacité d'adaptation d'un système dans l'enveloppe pour laquelle il a été conçu, mais elle regarde aussi l'extérieur de cette enveloppe avec les événements perturbateurs qu'elle peut comporter	(Woods et al., 2006)
la résilience est une propriété émergente des systèmes complexes	(Rigaud, 2008)
la capacité à reconnaître et s'adapter pour maîtriser une perturbation qui n'a pas pu être anticipée, qui interroge le modèle de compétence et requiert un changement dans les processus, la stratégie, la coordination	(Woltjer & Johansson, 2007)

La résilience dans les systèmes sociotechniques est la capacité du système à se remettre des adversités, ce qui comprend la récupération, l'évolution et l'adaptation à l'adversité. Selon le Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK), l'adversité est toute condition susceptible de dégrader la capacité souhaitée d'un système (SEBoK 2023).

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

Les adversités peuvent ou non être identifiées lors de l'élicitation des exigences des systèmes sociotechniques ; même ainsi, les systèmes sociotechniques résilients peuvent fournir, maintenir et améliorer leurs services face aux adversités et aux changements évolutifs. Ces changements peuvent être nécessaires pour adapter le système à des adversités inconnues auparavant et peuvent se produire sans l'intervention des concepteurs du système d'origine (Strigini 2012) .

Dans les systèmes sociotechniques, les personnes, les processus et la technologie sont interconnectés. Parfois, ces interconnexions sont intentionnelles ; d'autres fois, des interconnexions inattendues se produisent. Chaque acteur d'un ST joue un rôle dans les interconnexions (Baxter & Sommerville, 2011); les parties prenantes doivent prêter une attention constante aux implications possibles des connexions, qui peuvent conduire à des changements dans les processus et les systèmes fonctionnant sans être conçus ou prévus auparavant. La résilience des systèmes sociotechniques permet aux systèmes de s'adapter et de continuer à fonctionner lorsque des adversités surviennent (Simonette et al., 2018) .

I.4 SYSTEME DE SOINS DE SANTE

I.4.1 DEFINITION DE LA SANTE

Selon l'Organisation mondiale de la santé (International Health Conference 1946), la santé est « un état de complet bien-être physique, mental et social et non simplement l'absence de maladie ou d'infirmité ». De nombreux facteurs liés aux caractéristiques et comportements individuels d'une personne et à son environnement physique, social et économique se combinent pour déterminer la santé. Les facteurs spécifiques incluent : le revenu ; emploi; soutiens sociaux; éducation; l'alphabétisation; l'environnement physique, comme la disponibilité de l'eau, de la nourriture et du logement ; la biologie; la génétique; et services de santé (International Health Conference 1946).

I.4.2 LE SYSTEME DE SANTE

Les systèmes de santé sont des exemples paradigmatiques d'organisations humaines qui mélangent une multitude de caractéristiques professionnelles et disciplinaires différentes dans un environnement de performance critique (Martínez-García et al., 2013).

Les systèmes de santé sont l'ensemble des organisations, des institutions et des ressources, placés dans le cadre politique et institutionnel, chargés d'améliorer, de maintenir et de restaurer la santé. Elle présente un grand intérêt pour le public, les décideurs politiques et les administrateurs publics à tous les niveaux auxquels ils opèrent, car elle a un impact significatif sur la santé des individus, des populations et de l'économie (OMS - Europe 2008) (Camillo et al., 2017).

I.4.3 DIMENSIONS DU SYSTEME DE SANTE

Les systèmes de santé ont trois dimensions principales :

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

financement, prestation de services et réglementation (Böhm et al. 2013). Le financement consiste à collecter des fonds pour l'assurance maladie et les soins par le biais de mécanismes tels que la fiscalité directe, les cotisations d'assurance sociale ou le paiement privé. La fourniture de services englobe leur lieu de livraison, leurs fournisseurs et leurs technologies. La réglementation fait référence à la gouvernance des relations entre les bailleurs de fonds, les prestataires et les bénéficiaires, y compris la manière dont les patients accèdent aux services, les services qu'ils peuvent recevoir (par exemple, les visites aux urgences, les examens physiques, les ordonnances, la chirurgie dentaire, la psychothérapie et les soins infirmiers à domicile), et comment les bailleurs de fonds paient divers prestataires de soins pour eux. Des acteurs étatiques, sociétaux (privés à but non lucratif) ou privés peuvent exercer des fonctions de financement, de prestation de services et de réglementation (Böhm et al. 2013). La figure I -2 montre les dimensions du système de santé

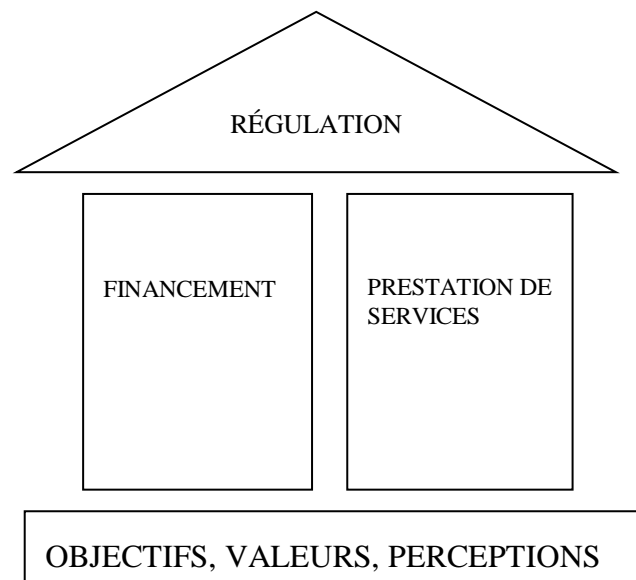


Figure I -1 Financement, prestation de services et réglementation des systèmes de soins de santé

I.4.4 NIVEAUX DES SYSTEMES DE SANTE

Les systèmes de santé fonctionnent à de nombreux niveaux – national, infranational, régional et local – parfois de manière congruente. Le système de santé d'un pays peut être géré de manière centralisée par le gouvernement national ou, en particulier dans les systèmes politiques fédéraux, être délégué en tout ou en partie à des sous-États qui délèguent ensuite aux autorités régionales. Ou bien, dans les pays unitaires comme dans les pays fédéraux, un système peut fonctionner principalement au niveau régional ou local.

I.4.5 TYPES DE SYSTEME DE SANTE

Bohm et al. (2013) ont classé les systèmes de santé de 30 pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) selon la mesure dans laquelle chaque

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

type d'acteur dominait chaque dimension. Ils ont déterminé que 28 d'entre eux appartenaient à quatre groupes :

L'Angleterre, où le National Health Service (NHS) emploie 1,5 million de personnes, est le modèle du premier type « command and control » (Gouvernement du Royaume-Uni 2015). Le Canada, où la plupart des médecins concluent des contrats privés avec des systèmes de santé provinciaux/territoriaux qui fonctionnent selon cinq principes stipulés par la Loi canadienne sur la santé fédérale, y compris « l'administration publique », est un bon exemple du type d'assurance-maladie nationale. L'Allemagne, où la majorité des citoyens cotisent à des « fonds maladie » autonomes par le biais de cotisations sociales, est le prototype des systèmes d'assurance sociale maladie (SHI). Les systèmes étatiques d'assurance maladie sociale, qui fonctionnent comme des systèmes SHI avec plus de réglementation étatique, se regroupent près de l'Allemagne en Europe centrale et orientale. Le système de santé américain est uniquement « privé », car les acteurs du secteur privé dominent chacune des trois dimensions. En effet, du fait de la prédominance du financement privé, les États-Unis sont le seul des 30 pays à ne pas assurer une couverture maladie universelle (Camillo 2016).

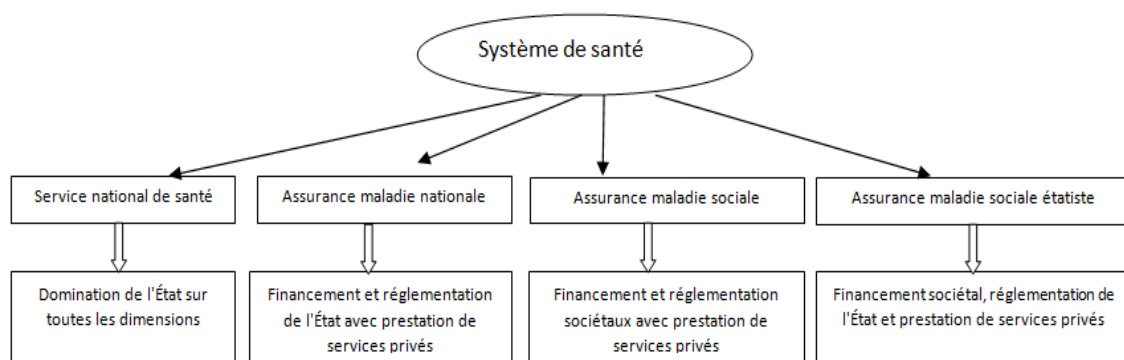


Figure I -2 Types de système de santé

I.5 LE SYSTEME DE SANTE ALGERIEN

Les soins de santé en Algérie consistent en un réseau existant d'hôpitaux, de cliniques et de dispensaires, car le gouvernement fournit des soins de santé complets. On trouve en Algérie deux types de systèmes de santé :

- ✓ Système de santé publique.
- ✓ Système de santé privé.

La figure I -4 montre les composantes les plus importantes du système de santé algérien.

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

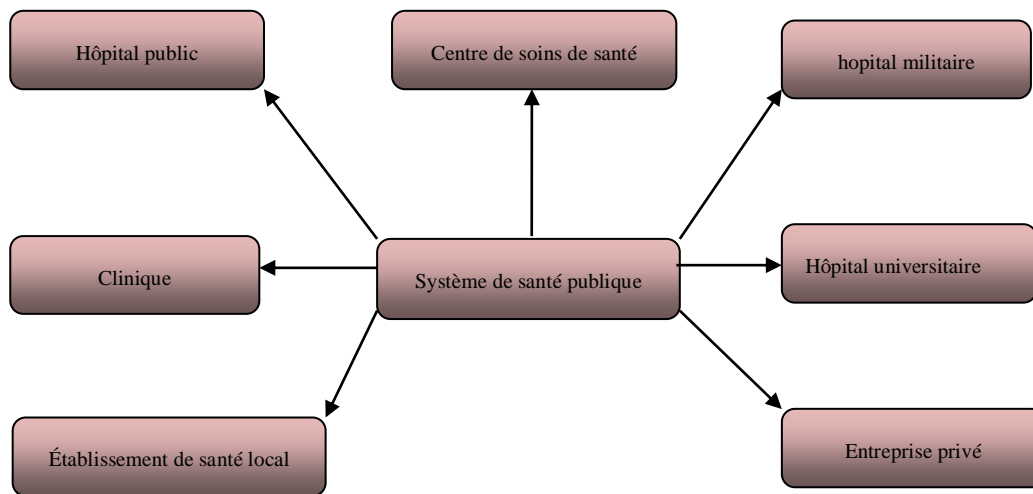


Figure I -3 les composantes du système de santé algérien

I.5.1 SYSTEME DE SANTE PUBLIQUE

Le système national d'assurance maladie couvre 90% de la population. Dans le cadre du système général d'assurance maladie, les groupes vulnérables tels que les pauvres, les enfants et les personnes âgées ont droit à des soins de santé gratuits, tandis que les citoyens aisés doivent payer une partie des frais de santé, selon une échelle mobile.

Le gouvernement algérien a décidé d'investir dans des centres de santé et des cliniques gérés par l'État plutôt que dans des hôpitaux coûteux(*Oxford Business Group 2016*).

Les établissements de santé et les équipements médicaux varient en taille en fonction de la taille de la population locale. Les régions éloignées ont tendance à avoir des services médicaux plus rudimentaires(*Algeria Health Insurance 2016*).

Le gouvernement investit dans les ressources humaines en créant des emplois pour les infirmières, les médecins et les aides-soignants. Le gouvernement alloue des fonds croissants pour augmenter la quantité de ressources dont le secteur de la santé a besoin pour développer ses nouvelles installations. Ce financement servira à de nouveaux équipements médicaux et à l'amélioration de la capacité hospitalière. L'accès aux soins de santé est amélioré par l'exigence que les médecins et les dentistes travaillent dans le domaine de la santé publique pendant au moins cinq ans.

Cependant, les médecins sont plus facilement trouvés dans les villes du nord que dans la région subsaharienne. Bien que l'équipement médical et les médicaments dans les établissements publics ne soient pas toujours à jour, les niveaux de personnel sont élevés(*Poverty & Healthcare 2022*).

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

I.5.2 SYSTEMES DE SANTE PRIVEE

Le secteur privé de la santé en Algérie est un système de santé géré par le gouvernement et les citoyens doivent payer pour leurs services. Le secteur privé de la santé s'est rapidement développé pour combler les lacunes laissées par le système de santé public du gouvernement. Les soins médicaux privés sont très limités, car leurs services ne sont pas couverts par le système de santé public et seuls quelques Algériens peuvent se permettre de payer leur propre traitement médical(Algeria Health Insurance - Pacific Prime International 2016). Les patients qui cherchent à utiliser le système de santé privé paieront davantage de leur poche et bénéficieront d'une meilleure qualité de services.

I.5.3 HOPITAUX PUBLICS

Un hôpital public, ou hôpital gouvernemental, est un hôpital appartenant au gouvernement qui est entièrement financé par le gouvernement et fonctionne uniquement à partir de l'argent collecté auprès des contribuables pour financer des initiatives de soins de santé. Dans certains pays, ce type d'hôpital fournit des soins médicaux gratuits aux patients et couvre les dépenses et les salaires via le remboursement du gouvernement.

Le niveau de gouvernement propriétaire de l'hôpital peut être local, municipal, étatique, provincial ou national, et l'admissibilité au service, pas seulement pour les urgences, peut être offerte aux résidents non citoyens.

Les hôpitaux publics et privés du monde entier sont confrontés à un défi majeur pour fournir un service de qualité avec des ressources limitées, tout en intégrant les développements technologiques dans l'infrastructure hospitalière, pour répondre à la demande toujours croissante(Cartes & Medina, 2016). Les hôpitaux publics constituent la base du système de soins de santé et ont la responsabilité et l'obligation de rechercher la justice sociale dans le système de soins de santé(Zhou & Reniers, 2016).

Tous les pays, en particulier les pays à revenu faible ou intermédiaire, doivent accorder une priorité élevée à l'amélioration de la qualité des soins hospitaliers (Kandu et al., 2023) (Al-Momani et al., 2016). En particulier, l'amélioration des soins dans les hôpitaux publics est importante car les hôpitaux sont les principaux prestataires de soins de santé pour la majorité de la population du pays, dont la plupart sont pauvres (Rahil-Golipour et al., 2019) (Pierre et al., 1998) . La première étape de l'amélioration et de la gestion de la qualité dans les systèmes de soins de santé est la mesure de la qualité des soins et de la performance(Njau et al., 2022) . Par conséquent, l'évaluation de la qualité dans les soins hospitaliers publics est très importante(Pan et al., 2023) (Gholami et al., 2016).

Un hôpital est un établissement de santé qui prodigue des soins aux patients grâce à du personnel médical et infirmier spécialisé et à du matériel médical. (Chaney et al., 2000). Il existe plusieurs types d'hôpitaux, dont le plus connu est l'hôpital public, qui dispose généralement d'un SU pour traiter les problèmes de santé urgents tels que les victimes d'incendie, d'accidents et de crises cardiaques. Un hôpital de district est généralement le principal établissement de santé de sa zone, avec un grand nombre de lits pour les soins

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

intensifs et des lits supplémentaires pour les patients nécessitant des soins de longue durée. Les hôpitaux spécialisés comprennent les centres de traumatologie, les hôpitaux de réadaptation, les hôpitaux pour enfants, les hôpitaux gériatriques et les hôpitaux traitant des besoins médicaux spéciaux tels que les traitements psychiatriques et certaines catégories de maladies. Les hôpitaux spécialisés peuvent aider à réduire les coûts des soins de santé par rapport aux hôpitaux généraux (Connor et al., 1990). Un hôpital d'enseignement combine l'aide aux personnes avec l'enseignement aux étudiants en médecine et en soins infirmiers. Un établissement médical plus petit qu'un hôpital est généralement appelé une clinique. Les hôpitaux ont une gamme de services (tels que la chirurgie, les soins d'urgence) et des unités spécialisées telles que la cardiologie. Certains hôpitaux ont des services de consultations externes et certains ont des unités de maladies chroniques. Les modules de soutien communs comprennent la pharmacie, la pathologie et la radiologie.

I.5.4 SERVICES

Les hôpitaux sont constitués de Sections, traditionnellement appelés services, surtout lorsqu'ils disposent de lits d'hospitalisation, alors qu'ils sont parfois appelés services d'hospitalisation. Les hôpitaux peuvent avoir des services aigus tels qu'un SU, un centre de traumatologie, une unité de soins aux brûlés, une chirurgie ou des soins d'urgence. Ceux-ci peuvent ensuite être soutenus par des modules plus spécialisés tels que les suivants :

- service d'urgence
- cardiologie
- Unité de soins intensifs :
 - Unité centrale de soins pour enfants
 - Unité de soins intensifs néonataux
 - Unité de soins intensifs cardiovasculaires
- Neurologie
- Oncologie
- Obstétrique et gynécologie, familièrement, maternité

En outre, il existe le département des soins infirmiers, souvent dirigé par le chef des soins infirmiers ou le directeur des soins infirmiers. Ce département est responsable de la gestion de la pratique infirmière professionnelle, de la recherche et de la politique à l'hôpital. Les soins infirmiers imprègnent chaque partie de l'hôpital. De nombreuses unités ou salles ont un directeur des soins infirmiers et un directeur médical qui assument la responsabilité de leurs spécialités respectives. Par exemple, en soins intensifs néonataux, le directeur de néonatalogie est responsable du personnel médical et des soins médicaux, tandis que le directeur des soins infirmiers / directeur de l'USI est responsable de toutes les infirmières et des soins infirmiers de cette unité / service. Certains hôpitaux ont des services ambulatoires et certains ont des unités de traitement chronique telles que des services de santé comportementale, dentaire, de

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

dermatologie, de psychiatrie, de réadaptation et de physiothérapie. Les unités de soutien communes comprennent une clinique ou une pharmacie, des laboratoires de pathologie et de radiologie. Du côté non clinique, il y a souvent des départements de dossiers médicaux, des départements de diffusion et de gestion de l'information (IM) (c'est-à-dire des départements de technologie de l'information (c'est-à-dire IT), des systèmes d'information (IS)), un département d'ingénierie clinique (c'est-à-dire biomédical), un département, l'unité d'entretien, les services alimentaires et les services de sécurité. Face à la demande croissante de soins sous de nombreuses contraintes, l'hôpital fait face à de nombreux problèmes, la figure I -5 le montre. Les principaux défis auxquels sont confrontés les hôpitaux.

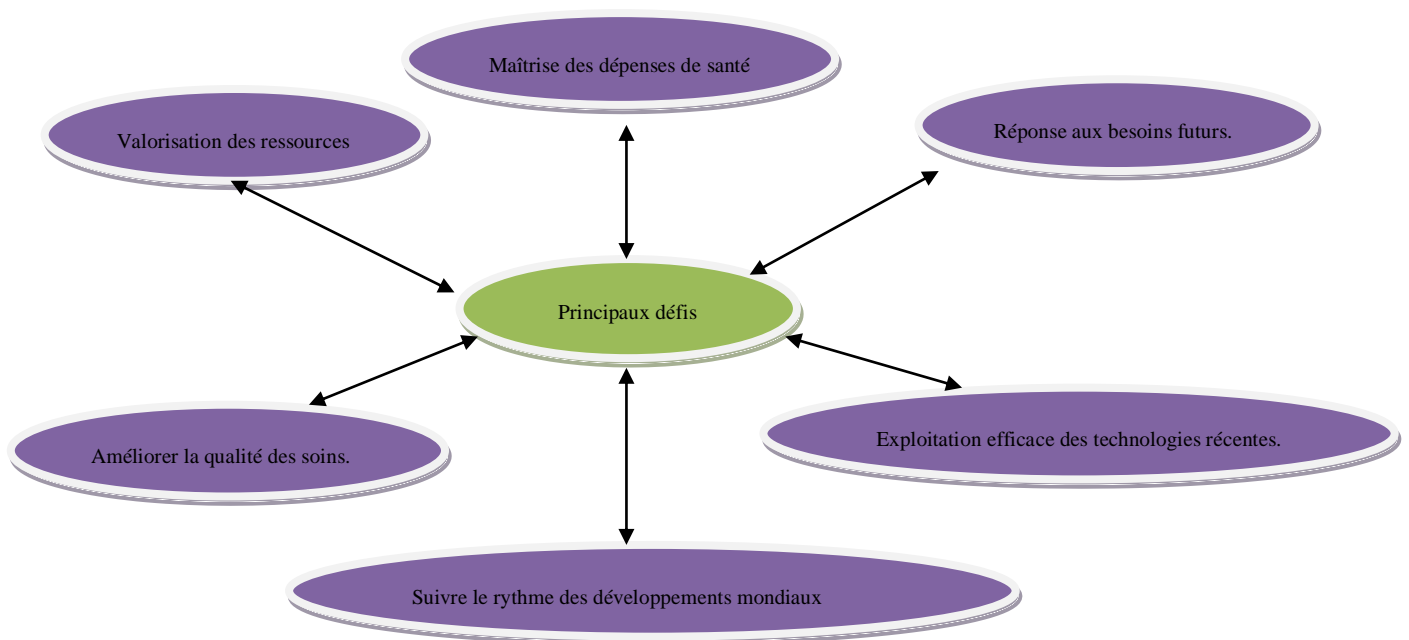


Figure I -4 Les principaux défis auxquels sont confrontés les hôpitaux.

I.6 LE SERVICE D'URGENCE : SYSTEME SOCIOTECHNIQUE

I.6.1 DEFINITION

Le service des URGENCES (SU) est une composante vitale de la plupart des systèmes de santé car il constitue la première ligne des soins aigus et l'une des principales voies d'admission à l'hôpital (Zhu et al., 2017).

Un service d'urgence, également appelé service des accidents et des urgences, salle d'urgence, est un établissement de traitement médical spécialisé dans la médecine d'urgence, les soins aigus pour les patients qui sont pris en charge sans rendez-vous préalable, soit par leurs propres moyens, soit en ambulance. En raison de la nature imprévue de la fréquentation des patients, le service doit fournir un traitement initial pour un large éventail de maladies et de

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

blessures, dont certaines peuvent mettre la vie en danger et nécessiter une attention immédiate. Dans certains pays, les services d'urgence sont devenus des points d'entrée importants pour ceux qui n'ont pas d'autres moyens d'accéder aux soins médicaux. Les services d'urgence de la plupart des hôpitaux fonctionnent 24 heures sur 24, bien que les niveaux de dotation puissent varier pour tenter de refléter le volume de patients.

La complexité d'un SU découle de plusieurs raisons endogènes et exogènes. Les raisons comprennent les diverses caractéristiques des patients, les taux d'arrivée des patients non stationnaires, les voies de traitement distinctes, la disponibilité variable des ressources (personnel, lit, établissement) et la variation de la consommation des ressources(Zhu et al., 2017) .

Les objectifs des services d'urgence sont de s'assurer qu'au moins 98 % des patients sont traités de l'arrivée à la sortie, au transfert ou à l'admission dans les 4 heures. Récemment, le nombre croissant de situations d'urgence a entraîné une surpopulation, ce qui a surchargé de nombreux services d'urgence(Centre for Change and Innovation 2004) (Zhao et al., 2004) . De plus, un certain nombre de patients non urgents se rendent aux urgences et services d'urgence, ce qui rend la tâche du personnel médical difficile(Liu et al., 2019).

I.6.2 CARACTERISTIQUES

Un service d'urgence (SU) est une partie importante d'un système de santé qui doit constamment fournir des services médicaux aux patients qui arrivent. La performance d'un SU affecte directement la qualité du système de santé. En raison de l'augmentation mondiale du nombre de visites aux urgences, la qualité du système de santé est devenue une préoccupation pour les prestataires de soins de santé(Shojaei et al., 2020).

Le service des urgences présente des caractéristiques qui le distinguent du reste des services de l'hôpital : malgré des moyens matériels et humains limités, la durée d'hospitalisation ne dépasse généralement pas une semaine(Alves de Queiroz et al., 2023).

Le service des urgences se caractérise également par une prise en charge rapide des cas critiques et urgents, et son accueil des patients à toute heure du jour ou de la nuit(De Hond et al., 2021).

Le service des urgences contient également de nombreux services pour différentes maladies, de sorte que le personnel médical et administratif souffre de difficultés organisationnelles et structurelles, avec un budget limité dans les pays en développement(Harrou et al., 2022).

I.6.3 LES SERVICES D'URGENCE ACTUELS

Les responsables du service des urgences s'efforcent d'employer toutes les différentes ressources des organisations de soins de santé afin de prodiguer les meilleurs soins au patient. Autour de la structure du service des urgences se trouvent des relations articulées complexes impliquées dans le réseau en amont et en aval. Ces relations sont, à l'intérieur de l'hôpital, à l'extérieur de l'hôpital et entre les différents hôpitaux(Khaldi et al., 2019).

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

Un patient se présente aux urgences soit par ses propres moyens, avec une ordonnance du médecin traitant, soit par des moyens d'urgence. Les services d'urgence doivent prendre en charge tout patient qui se présente, même s'il n'est pas aux urgences. Selon les données du service des urgences du wilaya de Sidi Bel Abbes, près de 80% des patients qui se présentent aux urgences rentrent chez eux, après une simple consultation ou des examens complémentaires.

Ce phénomène s'explique par le fait qu'aux urgences le patient peut être pris en charge 24h/24 par des spécialistes qualifiés en toute sécurité sans délai d'attente pour un rendez-vous préalable.

Dans le système de santé actuel, le service des urgences est une composante importante de la chaîne de soins aux patients, ce dernier étant la principale et importante porte d'entrée des établissements de santé.

Récemment, des changements sont survenus dans les systèmes hospitaliers, ce qui a fortement affecté les services d'urgence, auxquels s'ajoutent ces dernières années une augmentation du flux de patients vers les services d'urgence, ce qui entraîne un engorgement et une perturbation du travail de ces établissements.

Les principaux enjeux de ces changements sont de réduire les temps d'attente jugés excessifs par les usagers, d'assurer la sécurité et la qualité des soins aux patients et d'éviter la saturation des structures.

Améliorer l'organisation des systèmes de soins d'urgence est devenu un impératif, dans un contexte où la prise en charge des patients est l'une des principales priorités de l'organisation du système de santé.

La multiplicité de la forme et de la nature des besoins et des demandes aux urgences explique la complexité de l'organisation globale. Les flux entrants et sortants de la structure d'urgence permettent de décrire le système des urgences comme un système complexe en interaction.

De plus, la plupart des activités au sein du service des urgences se caractérisent par le caractère aléatoire et l'irrégularité de la quantité et de la nature du travail à effectuer. Cette complication augmente dans un contexte de visites aux urgences de plus en plus nombreuses (Vassy et al., 2004).

La gestion des flux de patients au sein de l'établissement de santé et du service des urgences est devenue une tâche difficile pour le personnel, et satisfaire les usagers est loin d'être aisé en raison des délais d'attente qui peuvent parfois devenir excessifs (Salman et al., 2020).

I.6.4 LES PROBLEMATIQUES ORGANISATIONNELLES DES SERVICES D'URGENCE

Le service des urgences contient plusieurs spécialités médicales dont le but est de répondre efficacement et rapidement à la demande médicale, en plus de cela, il y a une demande croissante au niveau des services de la part des patients. L'organisation des urgences et le personnel médical en général s'efforcent d'offrir aux patients des soins de qualité tenant compte des connaissances actuelles, des références acceptées et des recommandations des

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

organismes scientifiques. Dans cette partie, nous abordons les enjeux organisationnels du service des urgences. Après avoir examiné l'utilisation accrue des services d'urgence, on touche à l'importance des soins prodigués. Enfin, dans ce dernier, nous nous référons aux caractéristiques de l'activité médicale dans les services d'urgence.

I.6.4.1 L'UTILISATION ACCRUE DES SERVICES D'URGENCE

Le service des urgences se caractérise par une présence importante et croissante de patients, de sorte que les raisons de cette augmentation varient, ces raisons étant liées soit à l'accueil hospitalier des urgences, soit aux urgences pré-hospitalières ou bien à l'aval des urgences. Depuis la création du service des urgences après l'indépendance, l'activité du service des urgences n'a cessé de croître. Les statistiques en Algérie ont confirmé que les cas d'urgence ont augmenté de 50 % dans les années 1990, puis le nombre de visites aux urgences a augmenté de 75 % entre 2000 et 2005, tandis qu'entre 2006 et 2010 le nombre de visites aux urgences a augmenté de 5 %. Des rapports menés au niveau du Ministère de la Santé témoignent que cette augmentation a conduit à la conclusion que le service des urgences est de plus en plus sollicité par la population.

Récemment, des études en médecine d'urgence ont confirmé qu'au cours des quinze dernières années, la demande de services d'urgence a augmenté. L'évolution de l'activité de ces structures découle de l'organisation sociétale et témoigne de l'émergence progressive d'un nouveau type de « consommation médicale ».

À l'heure actuelle, les services d'urgence sont surchargés et font face à un niveau de charge stressant d'un point de vue structurel. Compte tenu des conditions de travail difficiles aux urgences, il convient de réfléchir à l'organisation des services et de leur personnel, à l'orientation et à la prise en charge pour les malades. Le personnel médical du service des urgences est frustré par l'encombrement, le personnel a de plus en plus de mal à répondre aux demandes de soins imprévues et non planifiées, et les tâches de soins et administratives deviennent de plus en plus difficiles.

L'encombrement des urgences entraîne une dégradation des conditions de travail, un risque accru de détérioration de l'état de santé des patients, des délais d'attente longs, ce qui fait que le patient perd confiance dans le personnel médical, et finit parfois par partir avant l'examen, de surcroît à des violences subies par le personnel. Ces conditions entraînent une faible qualité de service et la préoccupation des décideurs face aux crises. Les services d'urgence sont souvent tellement saturés que leur organisation interne doit encore être améliorée. Actuellement, l'ensemble de l'hôpital doit participer à la gestion des urgences, en plus de la coordination avec les ressources de santé.

I.6.4.2 PROBLEMES AUX URGENCES

L'encombrement des urgences entraîne de nombreux problèmes qui nuisent à sa mission et à la qualité des soins. La figure I -6 montre les problèmes les plus importants au service des urgences :

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

Ces problèmes rendent le travail du personnel médical pénible et leur emploi dans de tels secteurs devient difficile. En effet, l'afflux important de patients aux urgences a posé le problème des délais d'attente ainsi que celui du dimensionnement des locaux et de l'embauche du personnel.

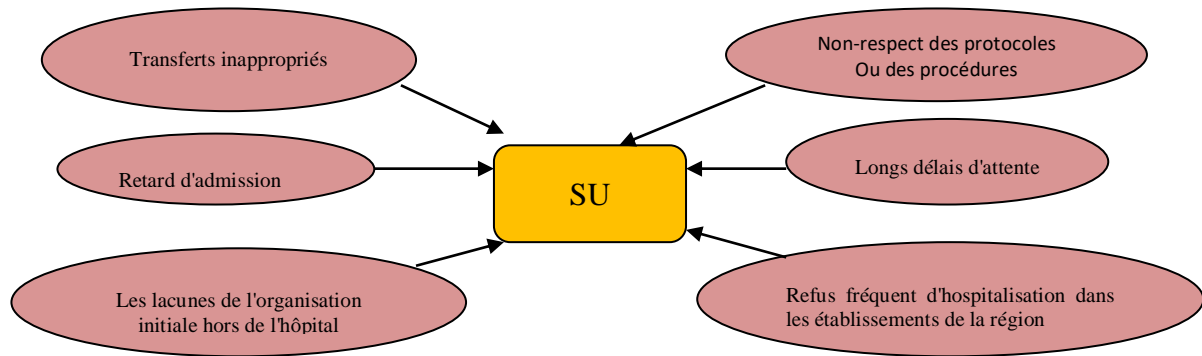


Figure I -5 les problèmes les plus importants au service des urgences.

Parmi les problèmes les plus courants au service des urgences, mentionnons :

- **Temps d'attente** : Des études récentes ont montré que les délais d'attente et les temps aux urgences peuvent être un indicateur de qualité pertinent pour le service des urgences (Pak et al., 2021). Les délais d'attente doivent être compatibles avec des considérations de satisfaction des patients et de nécessité organisationnelle, il est donc nécessaire de classer les patients selon cas critiques et non critiques(Salman et al., 2020) .
- **Gestion du personnel** : La médecine d'urgence nécessite des compétences particulières en rapport avec l'état du patient qui se présente aux urgences. La gestion des ressources humaines aux urgences est un facteur très important. Une répartition inappropriée du facteur humain conduit à Ne pas fournir de bons services aux patients.
- **Gestion des locaux** : La gestion des locaux du service des urgences est très importante. L'utilisation optimale des espaces d'accueil, de la salle d'attente et des espaces d'enregistrement facilite le processus de prise en charge du patient. Plusieurs études ont été menées sur l'utilisation optimale. Par exemple, la division des urgences selon le degré de gravité des maladies permet de réduire les temps d'attente.

I.6.4.3 ACTIVITE MEDICALE AU SERVICE DES URGENCES

Le contrôle de l'activité médicale d'urgence est très difficile, en raison de sa nature. Les activités du service des urgences varient entre les soins intensifs et la réanimation, la

CHAPITRE I - LA GESTION DES SYSTEMES SOCIOTECHNIQUES COMPLEXES : CAS DES SERVICES D'URGENCE

chirurgie, les consultations médicales et d'autres activités. Plusieurs facteurs contrôlent l'activité médicale, par exemple les changements qui se produisent. Dans l'état clinique du patient, en particulier les instables, qui nécessitent une adaptation dynamique pour organiser les soins.

Au cours de la journée, certaines des activités prévues deviennent inutiles, certaines sont extrêmement urgentes, et d'autres s'ajoutent finalement aux tâches déjà prévues.

Un autre facteur affectant l'activité médicale est le flux irrégulier de patients, ce dernier affectant fortement toute planification préalable et posant des problèmes d'organisation difficiles pour le personnel médical.

I.7 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons traité de la gestion de systèmes sociaux- techniques complexes, et comme échantillon de ces systèmes, nous avons pris un exemple, qui est le service des urgences. Au début, nous présentons les définitions et les caractéristiques, en plus des problèmes qui existent dans ces systèmes. Nous aborderons le système de santé en général et le système algérien en particulier. Le service des urgences est un élément important du système de santé car c'est l'entrée principale de l'hôpital. Dans ce chapitre, nous l'avons traité comme un système sociotechnique complexe. Nous avons présenté les définitions et les caractéristiques de ce système. Puis nous nous sommes référés aux services d'urgence actuels et après les problèmes dont souffre le service des urgences. L'activité médicale et les obstacles auxquels elle est confrontée aux urgences ont été mis en évidence, obstacles qui entraînent des temps d'attente longs pour les patients en plus de la durée de séjour du patient. Ces problèmes nous ont ouvert la voie à la recherche de nouvelles approches et solutions pour améliorer les services aux urgences, dont le but est de réduire les temps d'attente et la durée totale du séjour du patient. Dans le chapitre suivant, nous présentons Un état de l'art sur les différentes méthodes et approches trouvées dans la littérature, qui nous aident à nous rapprocher des objectifs représentés dans le processus d'optimisation au service de urgences.

CHAPITRE II :

UN ETAT DE L'ART

II.1 INTRODUCTION

Le rôle des urgences a été bien compris ces dernières années, notamment avec l'émergence de nouvelles maladies et la fréquence des catastrophes naturelles (Tantri & Amir, 2022). Le secteur de la santé en général et le service des urgences en particulier ont attiré l'attention de nombreux chercheurs, dont la plupart se sont concentrés sur la réduction des délais d'attente et de la durée du séjour du patient aux urgences, en utilisant différentes méthodes de modélisation, des algorithmes d'optimisation, des simulations, et d'autres méthodes. En examinant ces méthodes, il facilite le processus de compréhension de l'activité et des opérations qui se déroulent au niveau du service des urgences, et facilite ainsi le processus d'amélioration. Le service des urgences est un système complexe dans lequel il est difficile de prédire les processus qui se produisent, et donc le processus de modélisation et d'optimisation est quelque peu difficile et complexe, ce qui nécessite une étude approfondie des différents outils et moyens dans ce domaine. Dans ce chapitre, nous présentons quelques-unes des techniques et méthodes importantes qui ont été utilisées dans le domaine des soins, en particulier au service des urgences.

II.2 LES TECHNIQUES DE MODELISATION

La modélisation est généralement une étape importante pour étudier le comportement de tout système. La modélisation est considérée comme un outil puissant utilisé dans les processus d'optimisation. Grâce à la modélisation, tout système peut être conçu et développé, quel que soit son type ou le domaine auquel il appartient (Creemers et al., 2011). Le développeur peut concevoir l'architecture à l'aide de la modélisation avant d'allouer des ressources supplémentaires et de revenir à l'étape de pré-conception pour garantir un système fiable. Il existe de nombreuses méthodes et outils pour modéliser, optimiser et simuler le système hospitalier et les services d'urgence. L'outil de modélisation approprié est choisi en fonction du système étudié. Dans les sous-sections suivantes, nous indiquons des exemples d'outils de modélisation utilisés dans le domaine de la santé.

II.2.1 CHAÎNE DE MARKOV

Les chaînes de Markov font partie des processus stochastiques les plus importants. Ce sont des processus stochastiques pour lesquels la description de l'état présent capte pleinement toutes les informations qui pourraient influencer l'évolution future du processus. Google, par exemple, utilise des chaînes de Markov pour le classement des pages afin de déterminer l'ordre de recherche. Les chaînes de Markov sont également utilisées pour prédire les flux de trafic, les problèmes génétiques, des réseaux de communication et les files d'attente (Gagniac et al., 2017).

Les chaînes de Markov sont le composant de base des méthodes générales de simulation stochastique, qui sont utilisées pour simuler l'échantillonnage de distributions de probabilité complexes, et ont trouvé une application dans les statistiques bayésiennes, la mécanique statistique, la physique, la chimie, la finance, l'économie, la théorie de l'information, le traitement du signal et traitement de la parole. Les adjectifs Markovian et

UN ETAT DE L'ART

Markov sont utilisés pour décrire quelque chose qui est lié à un processus de Markov(Gamermanet & Lopes, 2006).

II. 2.1.1 PRINCIPES

Un processus de Markov est un processus stochastique qui satisfait la propriété de Markov (parfois qualifiée de "sans mémoire"). En termes plus simples, il s'agit d'un processus pour lequel des prédictions peuvent être faites concernant les résultats futurs en se basant uniquement sur son état actuel et, plus important encore, ces prédictions sont tout aussi bonnes que celles qui pourraient être faites en connaissant l'historique complet du processus. En d'autres termes, conditionnel à l'état présent du système, ses états futur et passé sont indépendants(ksendalet al., 2000).

Une chaîne de Markov est un type de processus de Markov qui a soit un espace d'état discret, soit un ensemble d'indices discrets (représentant souvent le temps), mais la définition précise d'une chaîne de Markov varie. Par exemple, il est courant de définir une chaîne de Markov comme un Processus de Markov en temps discret ou continu avec un espace d'états dénombrable (donc quelle que soit la nature du temps), mais il est également courant de définir une chaîne de Markov comme ayant un temps discret dans un espace d'états dénombrable ou continu (donc quel que soit l'état espace)(Asmussen2003).

II. 2.1.2 TYPES DE CHAINES DE MARKOV

L'espace d'état du système et l'index des paramètres de temps doivent être spécifiés. Le tableau suivant donne un aperçu des différentes instances de processus de Markov pour différents niveaux de généralité de l'espace d'états et pour le temps discret par rapport au temps continu :

Tableau 0-1 Les différentes instances de processus de Markov

	ESPACE D'ETAT DENOMBRABLE	ESPACE D'ETAT CONTINU OU GENERAL
TEMPS DISCRET	CHAINE DE MARKOV (A TEMPS DISCRET) SUR UN ESPACE D'ETATS DENOMBRABLE OU FINI	CHAINE DE MARKOV SUR UN ESPACE D'ETAT MESURABLE
TEMPS CONTINU	PROCESSUS DE MARKOV EN TEMPS CONTINU OU PROCESSUS DE SAUT DE MARKOV	TOUT PROCESSUS STOCHASTIQUE CONTINU AVEC LA PROPRIETE DE MARKOV

II. 2.1.3 TRANSITIONS

Les changements d'état du système sont appelés transitions. Les probabilités associées aux différents changements d'état sont appelées probabilités de transition. Le processus est caractérisé par un espace d'états, une matrice de transition décrivant les probabilités de transitions particulières et un état initial (ou distribution initiale) dans l'espace d'états. Par

convention, nous supposons que tous les états et transitions possibles ont été inclus dans la définition du processus, il y a donc toujours un état suivant et le processus ne se termine pas.

Un processus aléatoire à temps discret implique un système à chaque étape dans un état donné, l'état changeant de manière aléatoire entre les étapes. Fait référence aux étapes comme à des moments dans le temps, mais pourrait tout aussi bien faire référence à toute autre mesure discrète ou distance physique. Formellement, les étapes sont les nombres naturels ou entiers, et le processus stochastique est la cartographie de ces états. La propriété de Markov indique que la distribution de probabilité conditionnelle d'un système à l'étape suivante ne dépend que de l'état actuel du système, pas également de l'état du système dans les étapes précédentes. Puisque le système change au hasard, il est généralement impossible de prédire avec certitude l'état d'une chaîne de Markov à un point donné dans le futur. Cependant, les propriétés statistiques de l'avenir du système peuvent être prédites. Dans de nombreuses applications, ce sont ces propriétés statistiques qui sont importantes (Gagniuc et al., 2017). La figure II -1 est la représentation graphique de la matrice de transition.

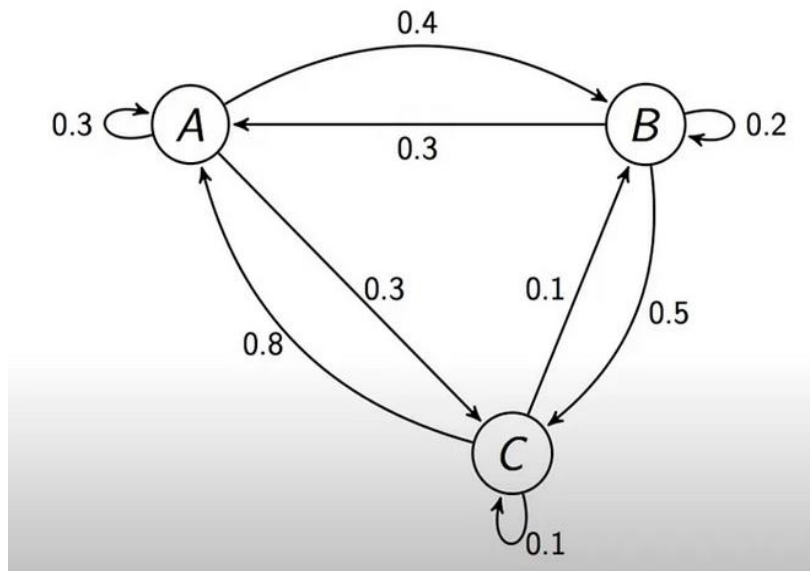


Figure II -1 représentation graphique de la matrice de transition.

II.2.1.4 EXEMPLE DE CHAINE DE MARKOV

- Les marches aléatoires basées sur des nombres entiers et le problème de la ruine du joueur sont des exemples de processus de Markov.
- le processus de Wiener également connu sous le nom de processus de mouvement brownien, et le processus de Poisson, qui sont considérés comme les processus stochastiques les plus importants et centraux dans la théorie des processus stochastiques.

- Une série d'états indépendants (par exemple, une série de lancers de pièces) satisfait la définition formelle d'une chaîne de Markov.

II. 2.1.5 APPLICATIONS DES CHAINES DE MARKOV DANS LE DOMAINE DE LA SANTE

Les opérations aux urgences sont caractérisées par la diversité et l'aléatoire, ce qui crée de nombreux problèmes et lacunes. Dans ce contexte, les chaînes de Markov peuvent être choisies comme outil de modélisation et de simulation des urgences. De nombreux chercheurs se sont appuyés sur ces dernières pour résoudre beaucoup de problèmes.

Pour allouer des lits dans un hôpital, Andersen(Andersen et al., 2017) a mené une étude à l'aide de chaînes de Markov, qui impliquait de déterminer le type de lit, le service ou l'unité approprié pour un patient en fonction de son état de santé, des exigences de traitement et des ressources disponibles. L'attribution des lits est un aspect important de la gestion hospitalière car elle permet d'optimiser l'utilisation des ressources, de réduire les temps d'attente des patients et de garantir que les patients reçoivent les bons soins au bon moment.

La prévision du flux de patients dans le service des urgences est importante pour fournir une alerte précoce de l'encombrement du service des urgences au service d'intérêts ou au personnel, surveiller et contrôler l'état de l'encombrement du service des urgences et fournir une politique pour réduire l'encombrement dans le service des urgences.

À cette fin, Zhang(Zhang et al., 2013) a présenté une étude dans laquelle un réseau de flux de patients est proposé pour soutenir le modèle de chaîne de Markov qui prédit la règle de flux de patients des services d'urgence. Les auteurs se concentrent principalement sur l'explication du principe du modèle de chaîne de Markov et sur la comparaison des données en temps réel ultérieures avec celles prédites.

Le transfert des soins entre les unités hospitalières est d'une grande importance pour la sécurité des patients, l'efficacité opérationnelle et la qualité des soins. Ces transferts sont souvent appelés accouchements à l'hôpital, qui doivent être effectués en toute sécurité, en douceur et en temps opportun avec des informations précises. Pour résoudre ces problèmes, Zhu(Zhuet al., 2020) a proposé un modèle de chaîne de Markov pour étudier les transitoires de livraison dans les services d'urgence des hôpitaux.

II.2.2 THEORIE DES FILES D'ATTENTE

La théorie des files d'attente est l'étude mathématique des files d'attente, dans laquelle un modèle de file d'attente est construit de manière à pouvoir prédire la longueur des files d'attente et le temps d'attente. La théorie des files d'attente est généralement considérée comme une branche de la recherche opérationnelle, car les résultats sont souvent utilisés lors de la prise de décisions commerciales concernant les ressources nécessaires pour fournir un service(Liuet al., 2022).

UN ETAT DE L'ART

La théorie des files d'attente trouve son origine dans les recherches d'Agner Krarup Erlang lorsqu'il a créé des modèles pour décrire le système de Copenhagen Telephone Exchange Company, une société danoise (Sundarapandian et al., 2009). Les idées ont depuis vu des applications, notamment dans les communications, l'ingénierie du trafic et l'informatique (Lawrence et al., 2009), en particulier dans l'ingénierie industrielle, dans la conception d'usines, de magasins, de bureaux et d'hôpitaux, ainsi que dans la gestion de projets (Schlechter et al., 2009).

En utilisant la théorie des files d'attente, le processus stochastique et la programmation dynamique, nous pouvons obtenir une dérivation et une simulation précises du modèle de flux de trafic routier. De plus, nous avons besoin de la théorie des graphes. En mathématiques, la théorie des graphes est l'étude des graphes, qui sont des structures mathématiques utilisées pour modéliser des relations par paires entre des objets. Un graphe dans ce contexte se compose de sommets (également appelés nœuds ou points) reliés par des liens. Une distinction est faite entre les graphes non orientés, dans lesquels les liens relient deux sommets symétriques, et les graphes orientés, dans lesquels les liens relient deux sommets de manière asymétrique.

II.2.2.1 NŒUDS A FILE D'ATTENTE UNIQUE

Une file d'attente ou un nœud de file d'attente peut être assimilé à une boîte noire. Les travaux (également appelés clients ou demandes, selon le domaine) arrivent dans la file d'attente, attendent éventuellement un certain temps, prennent un certain temps à être traités, puis quittent la file d'attente. La figure II -2 est un exemple de nœud de file d'attente unique



Figure II -2 Nœuds de file d'attente uniques.

Cependant, le nœud de file d'attente n'est pas tout à fait une pure boîte noire car certaines informations sont nécessaires sur l'intérieur du nœud de file d'attente. La file d'attente comporte un ou plusieurs serveurs qui peuvent chacun être associés à un travail arrivant. Lorsque le travail est terminé et part, ce serveur sera à nouveau libre d'être associé à un autre travail arrivant. La figure II -3 est un exemple de nœud de file d'attente avec 3 serveurs.

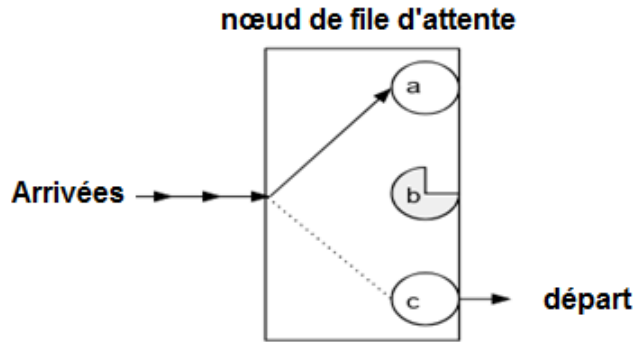


Figure II -3 Un nœud de file d'attente avec 3 serveurs.

Une analogie souvent utilisée est celle du caissier d'un supermarché. (Il existe d'autres modèles, mais celui-ci est couramment rencontré dans la littérature.) Les clients arrivent, sont traités par le caissier et repartent. Chaque caissier traite un client à la fois, il s'agit donc d'un nœud de file d'attente avec un seul serveur. Un cadre où un client partira immédiatement si le caissier est occupé lorsque le client arrive, est appelé une file d'attente sans tampon (ou sans zone d'attente). Un paramètre avec une zone d'attente pour jusqu'à n clients est appelé une file d'attente avec un tampon de taille n .

II.2.2.2 PROCESSUS NAISSANCE-MORT

Le comportement d'une seule file d'attente (également appelée nœud de mise en file d'attente) peut être décrit par un processus naissance-mort, qui décrit les arrivées et les départs de la file d'attente, ainsi que le nombre de travaux actuellement dans le système. Si k désigne le nombre de travaux dans le système (soit en cours de traitement, soit en attente si la file d'attente a un tampon de travaux en attente), alors une arrivée augmente k de 1 et un départ diminue k de 1.

Le système fait la transition entre les valeurs de k par « naissances » et « décès », qui se produisent aux taux d'arrivée λ_i et aux taux de départ μ_i pour chaque emploi i . Pour une file d'attente, ces taux sont généralement considérés comme ne variant pas avec le nombre de travaux dans la file d'attente, de sorte qu'un seul taux moyen d'arrivées/départs par unité de temps est supposé. Sous cette hypothèse, ce processus a un taux d'arrivée de $\lambda = \text{avg}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k)$ et un taux de départ de $\mu = \text{moy}(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k)$. La figure II-4 est un exemple de processus de naissance-mort, La figure II-5 est un exemple de file d'attente.

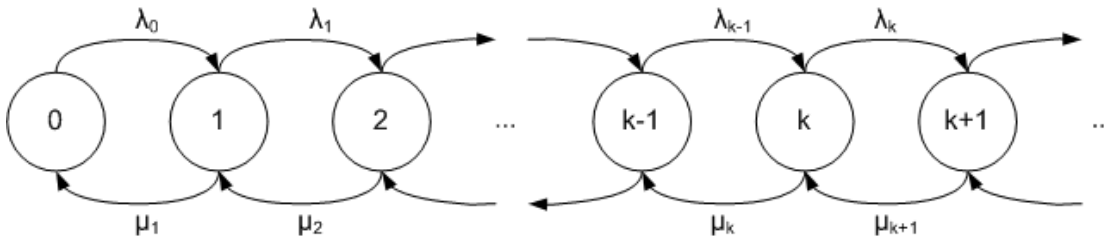


Figure II-4 Un processus de naissance-mort.

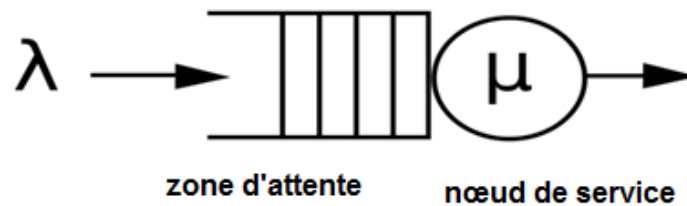


Figure II-5 Une file d'attente avec 1 serveur, taux d'arrivée λ et taux de départ μ .

II. 2.2.3 APPLICATIONS DE LA THEORIE DES FILES D'ATTENTE DANS LE DOMAINE DE LA SANTE

De nombreux chercheurs ont utilisé la théorie des files d'attente dans le domaine des soins de santé. Joshua (Joseph et al., 2020) a présenté une recherche sur l'utilisation des ressources des services d'urgence en utilisant la théorie des files d'attente. De nombreux processus différents au sein d'un SU ont été modélisés à l'aide d'équations de file d'attente, qui peuvent prédire les retards et aider à identifier les goulots d'étranglement. Bien que les équations de file d'attente puissent devenir mathématiquement complexes, les progiciels qui simulent les files d'attente aident à prédire les effets de l'évolution des ressources dans le SU sans le besoin de calculs difficiles.

Pour analyser les transferts de patients au sein des hôpitaux, Lee (Lee et al., 2019) a utilisé un modèle de réseau d'attente. Des transferts sûrs et efficaces de patients sont d'une importance cruciale pour assurer la sécurité des patients. Grâce à cette étude, les transferts entre le service des urgences, l'unité de soins intensifs et le service général service au sein de l'hôpital ont été analysés.

Pour le service des urgences, il est difficile de réduire le temps d'attente des patients, de fournir des soins en temps opportun et d'améliorer la satisfaction des patients. Les longs temps d'attente sont la plainte la plus importante dans les enquêtes de satisfaction des patients. Dans cette étude, Vass (Vass & Szabo, 2015) a utilisé le modèle d'attente pour étudier le flux de patients dans le service des urgences. Les résultats de cette étude ont permis de comprendre l'ampleur du problème et ont fourni un moyen de comprendre et de surveiller les performances, et la relation entre les ressources et les temps d'attente.

II. 2.3 LE LANGAGE DE MODELISATION UNIFIE

Le langage de modélisation unifié (UML) est un langage de modélisation de développement à usage général dans le domaine du génie logiciel qui vise à fournir un moyen standard de visualiser la conception d'un système (Baxter et al., 2011). La création d'UML a été motivée à l'origine par le désir de normaliser les systèmes de notation et les approches disparates de la conception de logiciels. Il a été développé chez Rational Software en 1994–1995, avec un développement ultérieur dirigé par eux jusqu'en 1996. En 1997, UML a été adopté comme

norme par l'Object Management Group (OMG) et est géré par cette organisation depuis. En 2005, UML a également été publié par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) (Matsumura et al., 1987) en tant que norme ISO approuvée.

UML a de nombreux types de diagrammes, qui sont divisés en deux catégories. Certains types représentent des informations structurelles, et les autres représentent des types généraux de comportement, dont quelques-uns qui représentent différents aspects des interactions (OMG Unified Modeling Language 2011). Ces diagrammes peuvent être classés hiérarchiquement comme indiqué dans le diagramme suivant :

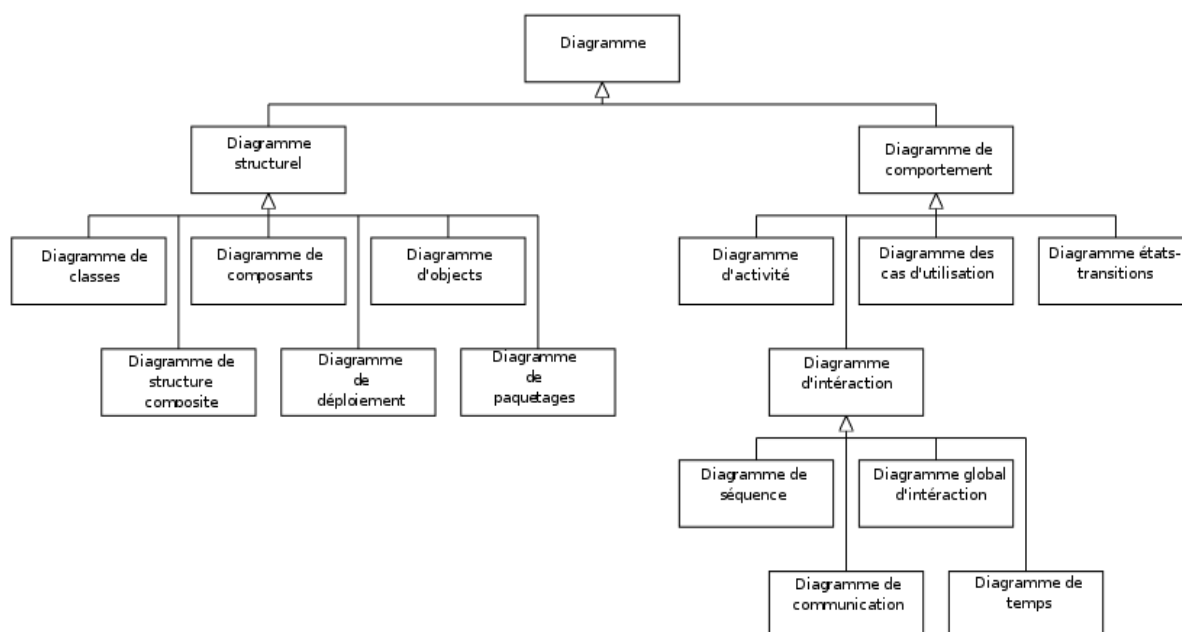


Figure II-6 Diagramme UML par catégorie.

II.2.3.1 DIAGRAMMES DE COMPORTEMENT

Les cinq diagrammes de comportement d'UML sont utilisés pour visualiser, spécifier, construire et documenter les aspects dynamiques d'un système. Il montre comment le système se comporte et interagit avec lui-même et avec d'autres entités (utilisateurs, autres systèmes). Ils montrent comment les données se déplacent dans le système, comment les objets communiquent entre eux, comment le passage du temps affecte le système ou quels événements provoquent le changement d'états internes du système. Étant donné que les diagrammes de comportement illustrent le comportement d'un système, ils sont largement utilisés pour décrire la fonctionnalité des systèmes logiciels. À titre d'exemple, le diagramme d'activités décrit les activités commerciales et opérationnelles étape par étape des composants d'un système.

En d'autres termes, un diagramme de comportement montre comment le système fonctionne « en mouvement », c'est-à-dire comment le système interagit avec des entités externes et des utilisateurs, comment il répond à une entrée ou à un événement et sous quelles contraintes il fonctionne. Il existe sept diagrammes de comportement qui vous permettent de modéliser la dynamique d'un système, comme indiqué dans le tableau 0-2.

II.2.3.2 DIAGRAMMES DE STRUCTURE OU DIAGRAMMES STATIQUES

Les diagrammes de structure décrivent la structure statique des éléments de votre système. C'est-à-dire comment un objet est lié à un autre. Il montre les éléments du système - classes, objets, packages ou modules, nœuds physiques, composants et interfaces.

Tableau II -2 Les diagrammes de comportement.

diagramme	description
Diagramme d'activité	Il s'agit d'une représentation graphique des flux de travail d'activités et d'actions par étapes avec prise en charge du choix, de l'itération et de la simultanéité
Diagramme de cas d'utilisation	Il décrit les exigences fonctionnelles d'un système en termes de cas d'utilisation qui vous permettent de relier ce dont vous avez besoin d'un système à la façon dont le système répond à ces besoins.
Diagramme états-transitions	Il montre le comportement discret d'une partie d'un système conçu à travers des transitions d'état finies.
Diagramme de séquençage	Il montre la séquence des messages échangés entre les objets nécessaires à la réalisation de la fonctionnalité du scénario.
Diagramme de communication	Il montre les interactions entre les objets et/ou les parties (représentées par des lignes de vie) à l'aide de messages séquencés dans un arrangement de forme libre.
Diagramme global d'interaction	Il décrit un flux de contrôle avec des nœuds pouvant contenir d'autres diagrammes d'interaction.
Diagramme de temps	Il montre les interactions lorsque l'objectif principal du diagramme est de raisonner sur le temps en se concentrant sur les conditions changeant au sein et entre les lignes de vie le long d'un axe de temps linéaire.

UN ETAT DE L'ART

Les sept diagrammes structurels UML sont grossièrement organisés autour des principaux groupes d'éléments que vous trouverez lors de la modélisation d'un système. Etant donné que les diagrammes de structure représentent la structure, ils sont largement utilisés pour documenter l'architecture logicielle des systèmes logiciels. Par exemple, le diagramme de composants décrit comment un système logiciel est divisé en composants et montre les dépendances entre ces composants. Le tableau 0-3 montre Les sept diagrammes structurels UML.

Tableau II -3 Les diagrammes structurels.

Diagramme	description
Diagramme de structure composite	Il montre la structure interne d'un classificateur, les interactions du classificateur avec l'environnement via les ports ou le comportement d'une collaboration.
Diagramme de déploiement	Il montre un ensemble de nœuds et leurs relations qui illustrent la vue de déploiement statique d'une architecture.
Diagramme des paquets	Il regroupe les éléments UML associés dans une collection de structures UML logiquement liées.
Diagramme de profils	spécialisation et personnalisation pour un domaine particulier d'un meta-modèle de référence d'UML (depuis UML 2.2).
Diagramme de classes	Il montre un ensemble de classes, d'interfaces et de collaborations et leurs relations, généralement trouvées dans la modélisation de systèmes orientés objet.
Diagramme d'objets	Il montre un ensemble d'objets et leurs relations, qui sont les instantanés statiques des instances des éléments trouvés dans les diagrammes de classes.
Diagramme de composants	Il montre un ensemble de composants et leurs relations qui illustrent la vue d'implémentation statique d'un système.

II.2.3.3 APPLICATIONS UML DANS LE DOMAINE DE LA SANTE

De nombreux chercheurs se sont appuyés sur UML dans divers domaines tels que la santé. Khatri(Khatriet al., 1999) a présenté une recherche dont l'objectif est de valider un système d'information pour les soins aux patients, tout en améliorant les performances de prise de

décision des patients en intégrant des informations médicales professionnelles à des informations améliorées par ordinateur. Le langage de modélisation unifié (UML) a été utilisé.

Pour surveiller et gérer électroniquement la santé du patient à l'hôpital, Marrium(Khalid et al., 2019) a présenté une recherche basée sur UML, à travers laquelle une plate-forme électronique est créée qui contient toutes les informations relatives à l'activité médicale et au patient.

Afin de suivre le parcours des patients au service des urgences, Martin (Martin et al., 2011) a utilisé des modèles de langage de modélisation unifié (UML), à travers lesquels une représentation précise et complète des opérations au service des urgences a été faite. En utilisant des données brutes indépendantes pour construire des modèles UML de suivi des patients, les sources de retards dans le flux des patients sont identifiées et les aspects de l'activité des services d'urgence qui peuvent être améliorés.

II.3 LES TECHNIQUES D'OPTIMISATION

II.3.1 QU'EST-CE QUE L'OPTIMISATION

La technologie d'optimisation en ingénierie est un outil puissant pour une utilisation efficace des ressources. L'application du processus d'optimisation nous aide à atteindre les meilleures conditions de fonctionnement. L'objectif principal de l'utilisation des techniques d'optimisation est de mesurer la valeur maximale ou minimale d'une fonction en fonction des conditions. La figure II-7 est un exemple de représentation graphique d'une fonction objectif.

Le but de toute recherche portant sur la maintenance, la fabrication et la conception est de prendre certaines décisions techniques à différentes étapes. Le résultat de la prise de ces décisions est la maximisation du profit avec une utilisation minimale des ressources.

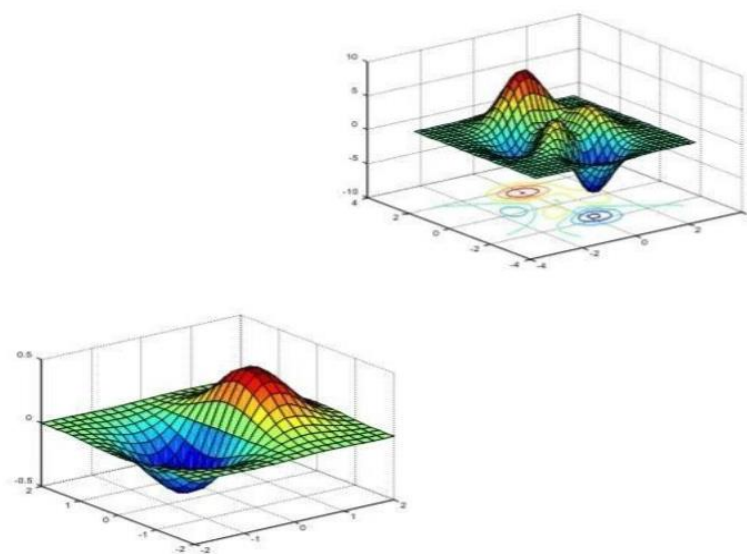


Figure II-7 Exemple de représentation graphique d'une fonction objectif(Martin et al., 2011)

UN ETAT DE L'ART

-La figure II-8 représente les étapes du processus d'optimisation :

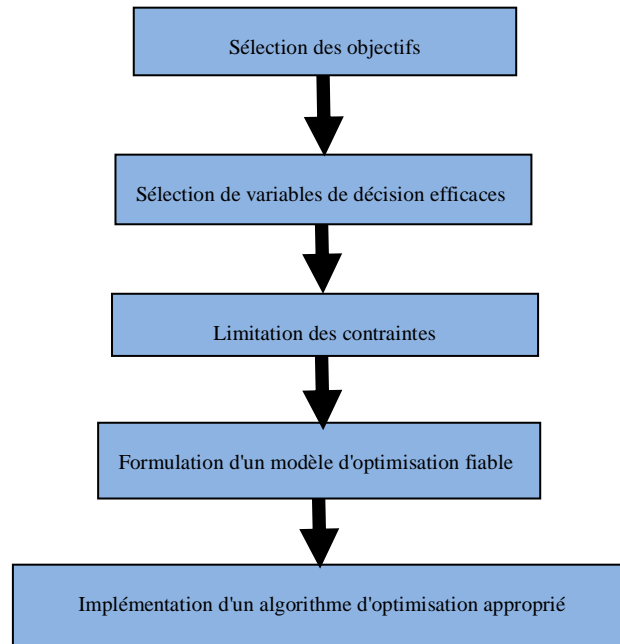


Figure II-8 les étapes du processus d'optimisation (Martin et al., 2011)

II.3.2 LES METHODES D'OPTIMISATION

Pour résoudre des problèmes, les chercheurs peuvent s'appuyer sur des algorithmes qui se terminent par un nombre fini d'étapes, des méthodes itératives qui se rapprochent d'une solution ou des heuristiques qui peuvent fournir des solutions approximatives à certains problèmes. La figure II-9 montre les techniques d'optimisation.

II.3.2.1 ALGORITHME GENETIQUE

En informatique et en recherche opérationnelle, un algorithme génétique (AG) est une métaheuristique inspirée du processus de sélection naturelle qui appartient à la classe plus large des algorithmes évolutionnaires (EA). Les algorithmes génétiques sont couramment utilisés pour générer des solutions de haute qualité aux problèmes d'optimisation et de recherche en s'appuyant sur des opérateurs d'inspiration biologique tels que la mutation, le croisement et la sélection (Mitchell et al., 1996).

II.3.2.1.1 MECANISME DE FONCTIONNEMENT

Dans un AG, un ensemble de solutions candidates appelées individus est développé pour un problème d'optimisation vers de meilleures solutions. Chaque solution candidate contient un ensemble de propriétés appelées chromosomes qui peuvent être mutés et modifiés ; Traditionnellement, les solutions en binaire sont représentées par des chaînes de 0 et 1, mais d'autres notations sont également possibles (Whitley et al., 1994).

L'évolution commence généralement par une population d'individus générée de manière aléatoire, et il s'agit d'un processus itératif, la population à chaque itération étant nommée une

UN ETAT DE L'ART

génération. A chaque génération, la fitness de chaque membre de la population est évaluée ; L'ajustement est généralement la valeur de la fonction objectif dans le problème d'optimisation à résoudre. Les individus les plus aptes sont choisis au hasard parmi la population existante, et le génome de chaque individu est modifié pour former une nouvelle génération. La nouvelle génération de solutions candidates est ensuite utilisée dans la prochaine itération de l'algorithme. En général, l'algorithme se termine lorsque le nombre maximum de générations a été produit, ou qu'un niveau de fitness satisfaisant pour la population a été atteint. Un AG typique nécessite une représentation génétique du domaine de solution et une fonction de fitness pour évaluer le domaine de solution.

Une représentation standard de chaque solution candidate est un tableau de bits. La principale propriété qui rend ces représentations génétiques pratiques est que leurs parties sont facilement alignées en raison de leur taille fixe, ce qui facilite les opérations de croisement simples. Les représentations arborescentes sont explorées dans la programmation génétique et les représentations sous forme de graphes sont explorées dans la programmation évolutive ; un mélange de chromosomes linéaires et d'arbres est exploré dans la programmation de l'expression génique. Une fois la représentation génétique et la fonction de fitness définies, un GA procède à l'initialisation d'une population de solutions puis à son amélioration par l'application répétitive des opérateurs de mutation, croisement, inversion et sélection.

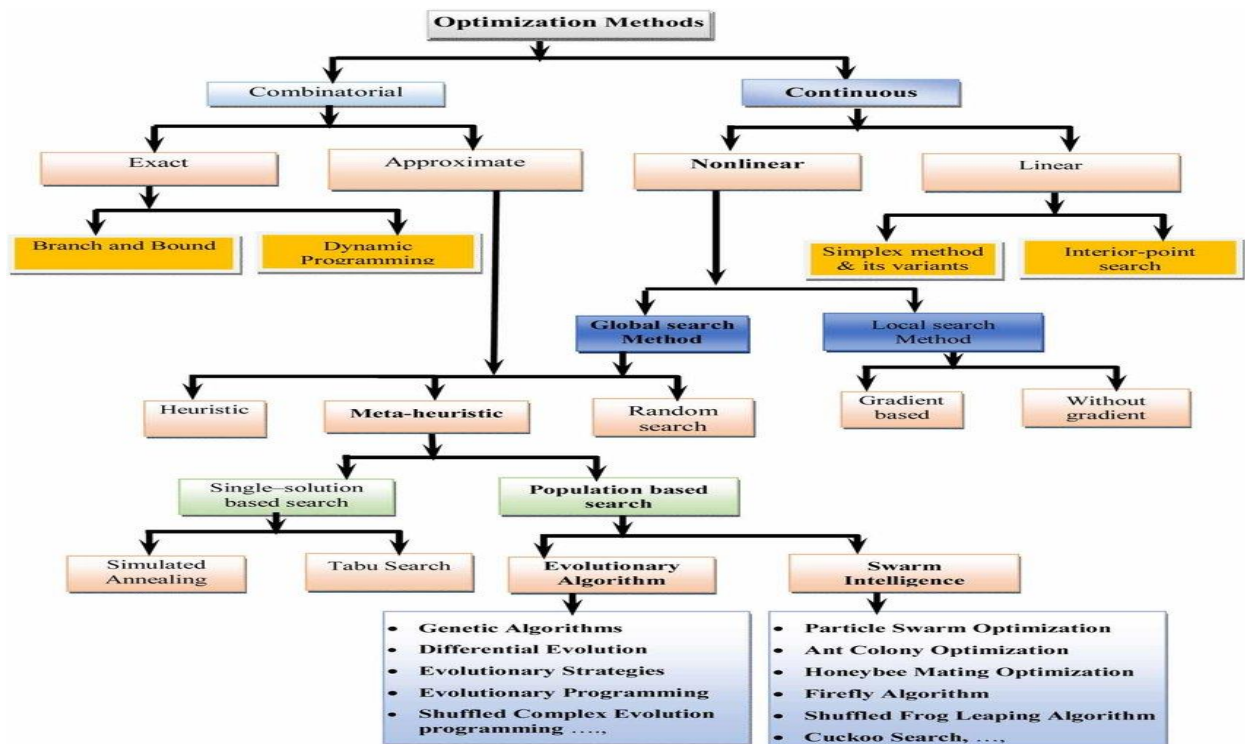


Figure II-9 les techniques d'optimisation.

II.3.2.1.2 APPLICATIONS DES ALGORITHMES GENETIQUES AUX SOINS DE SANTE

Pour améliorer les ressources humaines dans les situations d'urgence à l'hôpital, Apornak(Apornaket al., 2020) s'est appuyé sur des algorithmes génétiques, à travers lesquels le nombre de spécialistes, de médecins généralistes et d'infirmières en trois équipes est déterminé après 500 générations. Grâce à cette approche, un bon plan de travail est programmé dans le service des urgences.

Habituellement, de nombreuses personnes souhaitent s'engager dans le bénévolat, en particulier lors de catastrophes naturelles telles que des tremblements de terre, des incendies ou des opérations de sauvetage sur les plages, mais les compétences et les qualifications de ces personnes doivent être prises en compte pour que le travail bénévole puisse être effectué Bien.

Pour cela, Chromik (Chromik & Arnrich, 2021) a utilisé des algorithmes génétiques, dont le but est de classer également les secouristes du service des urgences, en tenant compte de toutes les limitations et qualifications.

Pour ajuster les horaires des infirmières de manière appropriée sans embaucher de personnel supplémentaire, YEH (YEH & LIN, 2007) a proposé une approche qui utilise des algorithmes génétiques avec une technologie de simulation. Grâce à cette approche, des algorithmes génétiques ont été appliqués pour trouver un horaire quasi optimal pour les infirmières basé sur la minimisation du temps d'attente pour les patients.

II.3.2.2 RECUIT SIMULE

Le recuit simulé est utilisé pour des problèmes d'optimisation de calcul très difficiles où des algorithmes précis échouent. Le nom de l'algorithme vient du recuit en métallurgie, une technique qui implique le chauffage et le refroidissement contrôlés d'un matériau pour modifier ses propriétés physiques. Le recuit simulé est une technique probabiliste pour approximation du maximum global pour une fonction donnée Plus précisément, du métaheuristique à l'optimisation globale approchée dans un grand espace de recherche jusqu'au problème d'optimisation. Pour un grand nombre d'Optima locaux, le recuit simulé peut trouver l'Optima global(What is Simulated Annealing2023). Le recuit simulé est utilisé lorsque l'espace de recherche est discret. Le recuit simulé est préférable pour les problèmes où la recherche d'un meilleur global approximatif est plus importante que la recherche d'un meilleur local exact sur une période de temps spécifique.

Dans l'algorithme de recuit simulé, l'idée d'un refroidissement appliqué lent est interprétée comme une lente diminution de la probabilité d'accepter les pires solutions tout en explorant l'espace des solutions. L'acceptation des pires solutions conduit à une recherche plus approfondie de la solution optimale globale.

Les algorithmes de recuit simulé fonctionnent comme suit :

- La température diminue progressivement d'une valeur initiale positive à zéro.

- A chaque pas de temps, l'algorithme sélectionne aléatoirement une solution proche de la solution courante, mesure sa qualité, et s'y déplace selon des probabilités dépendant de la température pour choisir des solutions meilleures ou moins bonnes, qui pendant la recherche restent successivement à 1 (ou positif) et diminue vers zéro.

II.3.2.2.1 APPLICATION DU RECUIT SIMULE DANS LES SOINS DE SANTE

Pour résoudre le problème de la planification des horaires des médecins dans le service des urgences, une approche d'optimisation de la simulation a été proposée par Kuo(Kuo et al., 2014), qui intègre la simulation dans le recuit simulé pour résoudre le problème. À l'aide de l'algorithme d'optimisation de simulation proposé, une étude de cas d'un SU en sous-effectif est réalisée.

L'ordonnancement du personnel aux urgences est difficile. Pour résoudre ce problème, Lin(Linet al., 2014) a proposé une approche basée sur l'algorithme de recuit simulé. L'objectif est de trouver un horaire adapté pour le personnel infirmier, tout en maintenant la qualité des services aux urgences.

Pour résoudre le problème d'acheminement des ambulances, ZIDI(ZIDI et al., 2019) a proposé une nouvelle approche basée sur l'hybridation de l'algorithme de recuit simulé et de TabuSearch. A travers cette approche, une solution est proposée pour un acheminement efficace des ambulances afin de répondre aux demandes d'urgence lorsqu'un ou plusieurs accidents surviennent au en même temps.

II.3.2.3 ALGORITHME DE COLONIES DE FOURMIS

L'algorithme d'optimisation des colonies de fourmis (ACO) est une technique probabiliste pour résoudre des problèmes de calcul qui peuvent être réduits à trouver de bons chemins à travers des graphes. Les populations de fourmis artificielles et les algorithmes de recherche locale sont devenus une méthode privilégiée pour de nombreuses tâches d'optimisation impliquant une sorte de graphique, par exemple, le routage des véhicules et le routage Internet. Les fourmis artificielles symbolisent des méthodes multifactorielles inspirées du comportement de vraies fourmis. La communication basée sur les phéromones des fourmis biologiques est souvent le modèle dominant utilisé (Guinandet al., 2010).

Les « fourmis » artificielles sélectionnent les solutions optimales en se déplaçant dans un espace de paramètres représentant toutes les solutions possibles. Les vraies fourmis déposent des phéromones qui se dirigent vers les ressources lorsqu'elles explorent leur environnement. De même, les "fourmis" simulées notent leurs emplacements et la qualité de leurs solutions, de sorte que dans les itérations de simulation suivantes, davantage de fourmis trouvent de meilleures solutions(Parsons et al., 2005).

Cet algorithme est classé dans la famille des algorithmes de colonies de fourmis, et il fait partie des méthodes d'intelligence en essaim, et il est proposé par Marco Dorigo en 1992,(Colorniet al., 1991 ;Dorigoet al., 1992) Le premier algorithme visait initialement à rechercher le chemin optimal dans le graphique, basé sur le comportement des fourmis qui cherchent un chemin entre une source de nourriture et leur colonie. L'idée originale de

résoudre une classe plus large de problèmes numériques s'est diversifiée et, par conséquent, plusieurs problèmes ont émergé, basés sur différents aspects du comportement des fourmis.

II.3.2.3.1 APPLICATION DES ALGORITHMES DE COLONIES DE FOURMIS DANS LES SOINS DE SANTE

Aux urgences, l'objectif est de réduire non seulement le temps d'attente du patient mais aussi le temps d'inactivité du personnel médical tout en maintenant un taux d'utilisation élevé des installations médicales, à cet effet Fallon(Fruggiero et al., 2008) a utilisé l'Ant Colony Optimization algorithme dont le but est d'optimiser la planification des patients selon la priorité définie, tout en équilibrant la charge de travail entre les types de ressources.

Un autre travail réalisé par Ibrahim(Ibrahim et al., 2021) utilise l'algorithme Ant Colony Optimization, dont le but est de rechercher rapidement le centre de santé le plus proche. L'algorithme Ant Colony Optimization fournit un itinéraire entre l'emplacement du SU et l'emplacement de l'utilisateur, en tenant compte de chaque attribut tel que l'heure, la distance et l'ambulance la plus proche.

Pour résoudre le problème de planification de la chirurgie, l'algorithme de colonie de fourmis a été utilisé. Compte tenu de l'ensemble du processus de chirurgie dans ses différentes étapes et des limites liées à ce processus, la planification de la chirurgie a été décrite comme un problème de planification flexible multi-ressources, donc une approche d'optimisation a été proposée sur la base de l'algorithme amélioré de colonie de fourmis.

II.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons fait une brève présentation des méthodes de modélisation et d'optimisation utilisées dans le domaine de la santé. Nous avons présenté plusieurs techniques de modélisation qui ont été utilisées dans le domaine de la santé (chaîne de Markov, files d'attente, langage de modélisation unifié), Par lequel les forces et les faiblesses de tout système sont identifiées, pour que ces techniques soient utilisées selon le cas étudié. Après cela, des exemples ont été présentés sur ces technologies et leur utilisation dans le domaine des soins de santé, en particulier la forte dépendance à leur égard ces dernières années. Les techniques de modélisation seules ne suffisent pas dans les processus d'optimisation, dans certains cas nous avons besoin d'algorithmes d'optimisation, comme nous avons abordé dans ce chapitre certains d'entre eux (Algorithme génétique, Recuit simulé, Algorithme de colonies de fourmis) qui ont été utilisés dans le domaine de la santé. Dans les chapitres suivants nous présentons les approches proposées pour les opérations d'optimisation au service des urgences, afin que nous fassions une étude de cas. Dans le chapitre suivant, nous expliquons en détail notre approche d'optimisation, avec son application au service des urgences de l'hôpital, pour lequel un RdPC a été utilisé.

CHAPITRE III :

MODELISATION DU SYSTEME DES URGENCES A L'AIDE D'UN RESEAU DE PETRI COLOREE

III.1 INTRODUCTION

Améliorer le flux des patients est un moyen d'améliorer les services de santé. Un flux de patients efficace peut améliorer la qualité des services et l'utilisation des ressources. De nombreux hôpitaux tentent de mettre en œuvre plusieurs stratégies innovantes pour réduire la surpopulation, en particulier dans les services d'urgence (Hsieh et al., 2023). L'amélioration du flux de patients est depuis longtemps un sujet de recherche en santé. La surpopulation dans les services d'urgence est devenue un problème majeur de santé publique en raison de la demande croissante de soins de santé couplée à une pénurie de personnel et de lits disponibles. Les conséquences comprennent un séjour prolongé, une augmentation des coûts des soins de santé, de mauvais résultats pour les patients et une diminution de la satisfaction des patients (Sanchez et al., 2006). La surpopulation est un phénomène mondial qui affecte négativement les patients, le personnel hospitalier et les opérations à l'échelle de l'hôpital. Un mauvais flux de patients a été identifié comme un facteur majeur contribuant au surpeuplement des urgences, qui est directement lié aux résultats indésirables pour les patients (Hammeret et al., 2022). De nombreux problèmes contribuent au surpeuplement d'urgence, qui est généralement un manque de ressources humaines et matérielles.

La phase de modélisation est importante pour l'étude de tels systèmes complexes. Dans ce chapitre, nous commençons par une brève définition des réseaux petri colorés, qui est un formalisme largement utilisé pour décrire les systèmes synchrones (Westergaard & Kristensen, 2009), puis nous expliquons l'approche proposée pour la modélisation et l'optimisation de service des urgences.

Après avoir construit un modèle de simulation que nous mettons en œuvre grâce aux outils RDPC, il est validé avec l'aide de l'expertise du personnel médical, à travers lequel les forces et les faiblesses du système sont identifiées, après quoi des scénarios d'amélioration sont proposés, et à chaque fois les résultats obtenus sont comparés. Cette étude vise à apporter aux décideurs du service des urgences plusieurs solutions pour améliorer la qualité des soins, en réduisant la durée totale de séjour du patient.

III.2 RESEAU DE PETRI

Le Réseau de Petri (RdP) est l'un des nombreux langages de modélisation mathématique pour décrire les systèmes distribués, inventé par Karl Adam Petri en 1962, dans le but de décrire les processus chimiques. C'est une classe de système dynamique à événements discrets. Un RdP est un graphe orienté en deux parties contenant deux types d'éléments : les places et les transitions. Les places sont symbolisées par des cercles blancs et des éléments de transition sous forme de rectangles. Une place peut contenir n'importe quel nombre de jetons, qui sont représentés par des cercles noirs. La transition est activée si tous les places qui lui sont connectés en entrée contiennent au moins un jeton. La figure III -1 montre un exemple de RdP:

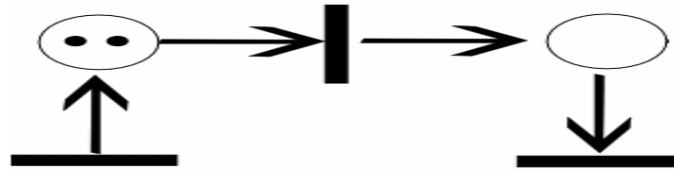


Figure III -1 Exemple de réseau de Petri

III.2.1 PRINCIPES DE BASE DU RESEAU DE PETRI

Le RdP se compose de places, de transitions et d'arcs. Les places à partir desquels l'arc s'étend jusqu'à la transition sont appelés les places d'entrée de la transition, et les places auxquels les arcs partent de la transition sont appelés les places de la sortie de la transition. Le jeton va d'une place à une transition ou vice versa , ,jamais entre les places ou entre les transitions(Kumar & Sonal Dahiya, 2020).

Graphiquement, les places d'un RdP peuvent contenir un nombre discret de marques appelées jetons. Toute distribution de jetons sur les places représentera une configuration du réseau appelée marquage. Dans un sens abstrait relatif à un diagramme de RdP, une transition d'un RdP peut se déclencher si elle est activée, c'est-à-dire qu'il y a suffisamment de jetons dans tous ses places d'entrée ; lorsque la transition se déclenche, elle consomme les jetons d'entrée requis et crée des jetons dans ses places de sortie. Un tir est atomique, c'est-à-dire en une seule étape non interruptible(Culda et al., 2019).

À moins qu'une politique d'exécution (par exemple un ordre strict des transitions, décrivant la priorité) ne soit définie, l'exécution des réseaux de Petri est non déterministe : lorsque plusieurs transitions sont activées en même temps, elles se déclenchent dans n'importe quel ordre.Étant donné que le déclenchement est non déterministe et que plusieurs jetons peuvent être présents n'importe où sur le réseau (même au même endroit), les réseaux de Petri sont bien adaptés à la modélisation du comportement simultané des systèmes distribués(Kumar et & Sonal Dahiya, 2020).

III.2.2 DEFINITION FORMELLE

Les réseaux de Petri sont des systèmes à transition d'état qui étendent une classe de réseaux appelés réseaux élémentaires(Liu et Yang, 2022) .

Définition 1. Un RdP est un tuple $N = (P , T , F)$ où P et T sont respectivement des ensembles finis disjoints de places et de transitions, $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ est un ensemble d'arcs .

Définition 2. Définition 2. Étant donné un RdP $N = (P, T, F)$, une configuration est un ensemble C tel que $C \subseteq P$.

Définition 3. Un RdP élémentaire est un RdP de la forme $EN = (N, C)$ où $N = (P, T, F)$ est un RdP, C est tel que $C \subseteq P$ est une configuration.

Définition 4. Un réseau de Petri est un réseau de la forme $PN = (N, M, W)$, qui étend le réseau élémentaire de sorte que

$N = (P, T, F)$ est un RdP.

$M : P \rightarrow Z$ est un multi-ensemble de place, où Z est un ensemble dénombrable. M étend le concept de configuration et est communément décrit en référence aux diagrammes de RdP comme un marquage.

$W : F \rightarrow Z$ est un arc multiset, de sorte que le nombre (ou poids) pour chaque arc est une mesure de la multiplicité de l'arc.

III.2.3 LES ELEMENTS DE BASE D'UN RESEAU DE PETRI

Les réseaux de Petri sont des graphes en deux parties, car ils présentent deux types de nœuds, appelés places et transitions.

les éléments de base d'un RdP:

- places.
- transitions.
- arcs.

Les places sont équivalentes aux variables d'état du système et sont représentées graphiquement par des cercles ou des ellipses. Les transitions sont équivalentes aux actions effectuées et sont représentées par des barres ou des rectangles. Les graphes sont toujours dirigés de lieux vers des transitions et/ou de transitions vers des lieux. Ces lieux et transitions sont reliés par des arcs. Les arcs sont représentés graphiquement par des flèches qui indiquent la direction d'écoulement du système modélisé(Kraisiget al., 2016).

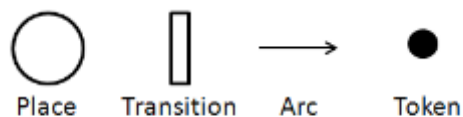


Figure III -2 Les éléments de base d'un réseau de Petri

III.2.4 RESEAUX DE PETRI MARQUES

Un marquage a un concept primitif dans les RdPs tels que le lieu et les transitions. Les marquages sont des informations attribuées à des lieux, les distributions de nombre et de marque consistent en l'état RdP à un moment déterminé, Un marquage est aussi appelé un jeton. Les définitions formelles sont présentées comme suit :

-Considérant l'ensemble des places P dans un réseau N , la définition formelle du marquage est représentée par une fonction qui transforme l'ensemble des places P en entiers non négatifs

$M : P \rightarrow \mathbb{N}$

-Considérant l'ensemble des places P dans un réseau N , le marquage peut être défini comme un vecteur $M = (M(p_1), \dots, M(p_n))$, où $n = \#(P)$, $\forall p_i \in P / M(p_i) \in \mathbb{N}$. Ainsi, un tel vecteur donne le nombre de jetons à chaque place pour le marquage M_i .

-Un RdP marqué est défini par une tupla $NM = (N; M_0)$, où N est la structure RdP et M_0 est le marquage initial.

Un RdP marqué contient des jetons, qui résident dans des endroits, voyagent le long d'arcs, et leur flux à travers le réseau est régulé par des transitions. Une distribution particulière (M) des jetons dans les lieux, représente un état spécifique du système. Ces jetons sont indiqués par des points noirs à l'intérieur des emplacements(Lomazova et al., 2017) .

III.2.5 ACTIVATION ET DECLENCHEMENT DE LA TRANSITION

Le comportement du système est décrit en termes d'états du système et de leurs modifications. Afin de simuler le comportement dynamique d'un système, un état (ou marquage) dans un RdP est modifié selon la règle de déclenchement suivante :

-Une transition t est dite activée, si chaque place d'entrée p de t est marquée d'au moins le nombre de jetons égal à la multiplicité de son arc reliant p à t .

-Une transition activée peut ou non se déclencher (selon que l'événement respectif se produit ou non).

-Le déclenchement d'une transition activée t supprime des jetons (égaux à la multiplicité de l'arc d'entrée) de chaque place d'entrée p et ajoute des jetons (égaux à la multiplicité de l'arc de sortie) à chaque place de sortie p (Lomazova et al., 2017).La figure III -3 montre un exemple de RdP.

III.2.6 PROPRIETES DES RESEAUX DE PETRI

Les propriétés PN permettent une description détaillée et une analyse du système modélisé. A cet effet, deux caractéristiques du RdP ont été soulignées : les propriétés comportementales et structurelles .Les propriétés comportementales sont celles qui dépendent du marquage initial. Les propriétés structurelles, en revanche, sont celles qui sont indépendantes du marquage(Murata 1989).

III.2.6.1 PROPRIETES COMPORTEMENTALES

Les caractéristiques comportementales sont très importantes, car elles sont utilisées lors de l'analyse d'un système donné(Murata 1989).

- Accessibilité :

Le déclenchement d'une transition activée modifie le marquage du jeton dans un RdP, et une séquence de déclenchements entraîne une séquence de marquages. Un marquage M_n est dit accessible à partir d'un marquage M_0 s'il existe une séquence de tirs qui transforme M_0 en M_n (Murata 1989).

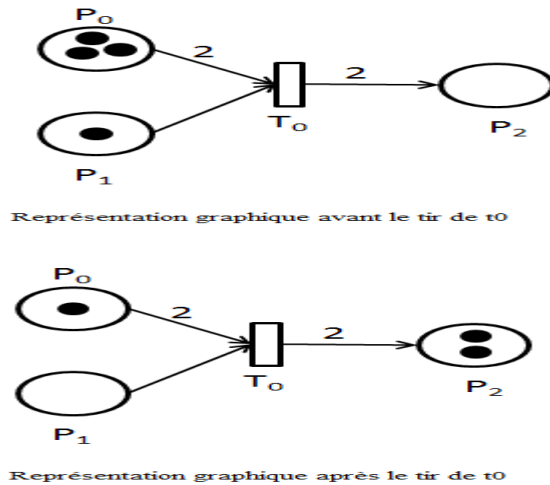


Figure III -3 Exemple de réseau de Petri.

- Limitation :

Un RdP est dit borné si le nombre de jetons à chaque place ne dépasse pas un nombre fini k pour tout marquage accessible depuis M_0 (Murata 1989).

- Sûre :

Un réseau Petri est dit sûr lorsque le nombre de jetons dans chaque emplacement ne dépasse pas le nombre "1" (un). Il est important de préciser que si RdP est sûr, il n'y aura presque certainement pas de dérogation nulle part, quelle que soit la séquence de tir adoptée (Murata 1989).

- Deadlock freedom :

Un PN est dit sans interblocage s'il n'y a pas de marquage accessible de sorte qu'aucune transition n'est activée (Murata 1989).

- La vivacité :

De manière informelle, un RdP est dit sous tension s'il est garanti que, quelle que soit la séquence de tir choisie, il continue en fonctionnement sans blocage. La définition formelle, un RdP (N, M_0) est dit vivant si, quel que soit le marquage atteint à partir de M_0 , il est possible de déclencher finalement n'importe quelle transition du réseau (Murata 1989).

- Persistance :

Un RdP est dit persistant si, pour deux transitions activées, le déclenchement d'une transition ne désactivera pas l'autre. Une fois qu'une transition est activée dans un réseau persistant, elle continue à être activée jusqu'à ce qu'elle se déclenche (Murata 1989).

III.2.6.2 PROPRIETES STRUCTURELLES

- Vivacité structurelle :

Un RdP N est dit structurellement vivant s'il existe un marquage initial vivant pour N.

- Limitation structurelle :

Un RdP N est dit structurellement borné s'il est borné pour tout marquage initial fini M_0 .

- Conservativité structurelle :

Un RdP qui fournit une somme pondérée constante de jetons pour tout marquage accessible lors de l'examen de tout marquage initial est dit structurellement conservateur.

- Répétitivité structurelle :

Un RdP est classé comme répétitif s'il y a un marquage initial m_0 et une séquence de déclenchement activée à partir de m_0 telle que chaque transition du réseau est déclenchée à l'infini. D'autre part, si seulement certaines de ces transitions sont déclenchées infiniment souvent dans la séquence σ , ce réseau est dit partiellement répétitif.

- Consistance :

Un réseau est classé comme cohérent s'il existe un marquage initial m_0 et une séquence de déclenchement activée de m_0 vers m_0 de sorte que chaque transition du réseau soit déclenchée au moins une fois. Si seulement certaines de ces transitions ne sont pas déclenchées dans la séquence σ , ce réseau est dit partiellement cohérent (Callou et al., 2012).

III.2.6.3 AVANTAGES DES RESEAUX DE PETRI

Les principaux avantages des réseaux de Petri sont les suivants :

- ✓ Les réseaux de Petri sont un langage mathématique pour modéliser les processus et un moyen théorique pour leur analyse.
- ✓ Les réseaux de Petri sont particulièrement bien adaptés à la modélisation de situations telles que la concurrence, les conflits, les choix et la synchronisation.
- ✓ Les réseaux de Petri sont des outils de modélisation dynamique discrète populaires et largement utilisés dans les applications de contrôle intelligent.
- ✓ Les réseaux de Petri sont un modèle mathématique très simple. C'est un langage graphique, mais la sémantique est claire.

- ✓ Vérification : Il est facile de vérifier les propriétés des réseaux de Petri, par ex. que toutes les exécutions conduisent au résultat souhaité, quelle que soit la manière dont elles peuvent être exécutées.
- ✓ Simulation : il est facile de simuler plusieurs exécutions, ce qui permettra d'identifier d'éventuels goulots d'étranglement et d'estimer à la fois le débit global et le temps d'exécution de chaque cas individuel.

III.2.7 EXTENSIONS DU RESEAU DE PETRI

Il existe de nombreuses extensions aux réseaux de Petri. Certains d'entre eux sont complètement rétrocompatibles (les réseaux de Petri colorés) avec le RdP original, d'autres ajoutent des propriétés qui ne peuvent pas être modélisées dans le formalisme des réseaux de Petri originaux (les réseaux de Petri temporisés)(Zhou et al., 2016). Bien que les modèles rétrocompatibles n'étendent pas la puissance de calcul des réseaux de Petri, ils peuvent avoir des représentations plus succinctes et être plus pratiques pour la modélisation (Jensen 1997).

III.2.7.1 LES RESEAUX DE PETRI TEMPORISES

Les réseaux de Petri temporisés (RpT) sont des réseaux de Petri classiques où chaque transition t est associée à un intervalle de temps $[at, bt]$. Lorsque t devient activé, il ne peut pas se déclencher avant que les unités de temps ne se soient écoulées, et il doit se déclencher au plus tard bt unités de temps après avoir été activé, à moins qu'il n'ait entre-temps été désactivé par le déclenchement d'une autre transition. Ici, at et bt sont relatifs au moment où t a été activé pour la dernière fois.

Le temps at est le temps de déclenchement le plus précoce possible pour t et est appelé temps de déclenchement au plus tôt, et bt est le temps de déclenchement le plus récent possible pour t et est appelé temps de déclenchement au plus tard.

Le déclenchement d'une transition en lui-même ne prend pas de temps. Les limites de l'intervalle sont des nombres rationnels non négatifs ou dans le cas de bt mais l'intervalle de temps lui-même est donné en nombres réels. La figure III -4 montre un exemple de réseau de Petri temporisés :

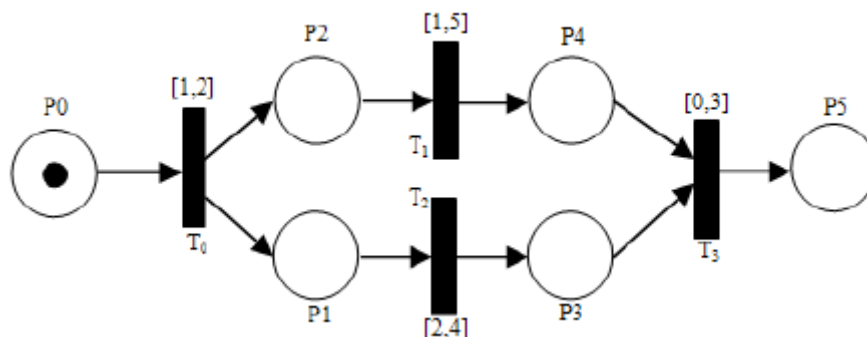


Figure III -4 Exemple de réseau de Petri temporisés.

III.2.7.2 RESEAUX DE PETRI COLORES

Les réseaux de Petri colorés (RdPC) sont un langage graphique utilisé pour construire des modèles de systèmes concurrents et analyser leur comportement et leurs propriétés (Wicaksono & Rudhito, 2019). RdPC permet de définir certains types de données définis par l'utilisateur ainsi que certaines déclarations standard. RdPC est un langage de modélisation à événements discrets combinant les capacités des réseaux de Petri avec celles d'un langage de programmation de haut niveau (Emerson & Sistla, 1996). Les réseaux de Petri constituent la base de la notation graphique et les primitives de base pour la modélisation de la concurrence, de la communication et de la synchronisation (Wicaksono & Rudhito, 2019).

Un RdPC est un tuple $N = (P, T, A, \Sigma, C, N, E, G, I)$, où :

- P est un ensemble de place.
- T est un ensemble de transitions.
- A est un ensemble d'arcs
- Dans les ensembles de places RdPC, les transitions et les arcs sont deux à deux disjoints
- $P \cap T = P \cap A = T \cap A = \emptyset$.
- Σ est un ensemble d'ensembles de couleurs définis dans le modèle RdPC. Cet ensemble contient toutes les couleurs possibles, opérations et fonctions utilisées dans RdPC.
- C est une fonction de couleur. Il mappe les lieux de P en couleurs dans Σ .
- N est une fonction nœud. Il mappe A en $(P \times T) \cup (T \times P)$.
- E est une fonction d'expression d'arc. Il mappe chaque arc $a \in A$ dans l'expression E. L'entrée et les types de sortie des expressions d'arc doivent correspondre au type de nœuds sur lequel l'arc est connecté à.
- L'utilisation de la fonction de nœud et de la fonction d'expression d'arc permet à plusieurs arcs de connecter la même paire de nœuds avec différentes expressions d'arc.
- G est une fonction de garde. Il mappe chaque transition $t \in T$ à une expression de garde g. La sortie de l'expression de garde doit être évaluée à une valeur booléenne : vrai ou faux.
- I est une fonction d'initialisation. Il mappe chaque place p dans une expression d'initialisation i. l'expression d'initialisation doit être évaluée comme un multi ensemble de jetons avec une couleur correspondant à la couleur du lieu C(p).

La figure III -5 montre un exemple de réseau de Petri Colorés :

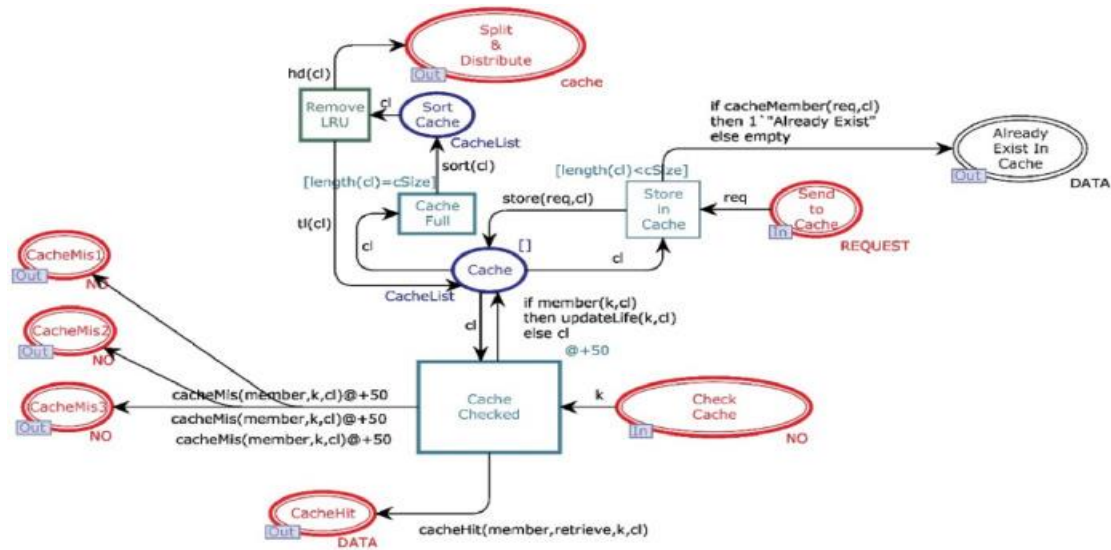


Figure III -5 Exemple de réseau de Petri Colorés (Rizwan et al., 2021)

III.2.7.3 RESEAUX DE PETRI COLORES HIERARCHIQUES

Les réseaux de Petri colorés hiérarchiques (RPCH) introduisent une fonctionnalité permettant de créer un grand modèle RdPC en utilisant un certain nombre de petits RdPC. Dans les RPCH, la notion de transition de substitution est prévue pour permettre à l'utilisateur de relier une transition à un RdPC plus complexe, appelé sous-réseau. Une transition de substitution a des emplacements d'entrée et de sortie appelés emplacements de socket. Plus formellement, un RPCH est un tuple $RPCH = \langle S, P, T, A, \Sigma, St, SA, Ppor, Psoc, PS \rangle$ où :

- S est l'ensemble des pages (sous-réseaux), P est l'ensemble des lieux et T est l'ensemble des transitions.
- $A \subseteq (P \times (T \cup St)) \cup ((T \cup St) \times P)$: est l'ensemble des arcs.
- Σ : est l'ensemble des types non vides, appelés ensembles de couleurs.
- St : est l'ensemble des transitions de substitution, $SA : St \rightarrow S$ est une fonction d'affectation de page, $Ppor \subseteq P$ est l'ensemble des places de port, $Psoc \subseteq P$ est l'ensemble des places de socket, et $PS : Ppor \rightarrow Psoc$ est un port -fonction de relation de socket qui attribue des emplacements de port à des emplacements de socket pour relier le sous-réseau au réseau principal (Rahim et al., 2021).

Dans les applications pratiques des RdP pour la modélisation de l'ingénierie système, les exigences complexes de la logique métier peuvent conduire à ce que l'espace d'état d'un système réseau soit extrêmement vaste, de sorte qu'il est très difficile d'effectuer une simulation et une optimisation des performances. Heureusement, les formalismes RPCH utilisant le lieu de fusion, le lieu port/socket et la transition de substitution (également connue

sous le nom de transition agrégée) fournissent une formulation hiérarchique pour résoudre ce problème, réduisant ainsi la dimension de l'espace d'état. En d'autres termes, un modèle RDPC complet à grande échelle peut être divisé en un certain nombre de sous-réseaux, qui sont facilement représentés et étudiés(An et al., 2018).

Lorsqu'un modèle exécutable RPDH est construit, selon les règles de déclenchement définies dans, des espaces d'états complets représentant toutes les exécutions possibles du modèle peuvent être générées. L'espace d'état complet est décrit par un graphe orienté où les nœuds correspondent à l'ensemble des marquages accessibles et les arcs correspondent aux éléments de liaison d'occurrence. Par conséquent, dans des espaces d'états complets, nous pouvons observer non seulement tous les états accessibles, mais également tous les changements d'état. Sur cette base, certaines propriétés critiques du système telles que la vivacité, l'étendue et l'équité peuvent être validées et garanties(Jensen et al., 2007).

Les deux figures III -6, III -7 montrent un exemple de RdPC hiérarchique :

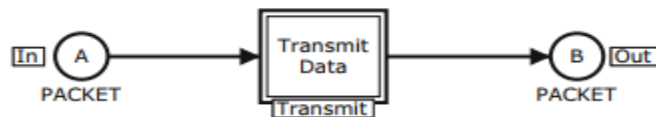


Figure III -6 Exemple de réseau de Petri Colorés hiérarchique-page principale (Jensen et al., 2007)

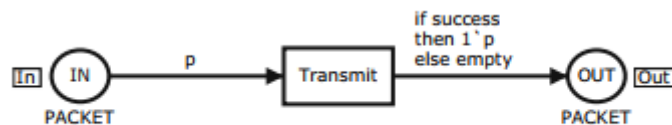


Figure III -7 Exemple de réseau de Petri Colorés hiérarchique-Sous-page de la page principale(Jensen et al., 2007)

III.2.7.4 LANGAGE ML DE RESEAU DE PETRI COLORE

langage ML de réseau de Pétri coloré est basé sur le langage de programmation fonctionnel Standard ML (Milner et al.,1997). Langage ML de RDPC intègre le langage Standard ML et l'étend avec des constructions permettant de définir des jeux de couleurs et de déclarer des variables. L'environnement de programmation langage ML de RDPC étend l'environnement Standard ML avec les concepts de multiset et les fonctions de manipulation des multiset. Il existe plusieurs implémentations et environnements de programmation pour Standard ML. RdPC Tools utilise l'implémentation SML/NJ (Appel & MacQueen, 1991).

CHAPITRE III - Modélisation du système des urgences à l'aide d'un réseau de Petri colorée

Le langage Standard ML joue un rôle majeur dans le langage de modélisation de réseau de Pétri coloré et la mise en œuvre des outils réseau de Pétri coloré. Le ML standard offre à l'utilisateur l'expressivité requise pour modéliser des données et manipuler des données de la taille et de la complexité rencontrées dans les exemples industriels typiques. Le ML standard est également utilisé pour mettre en œuvre la simulation, l'analyse de l'espace d'état et l'analyse des performances. En intégrant un langage de programmation complet et son environnement dans les Outils de RDPC, la flexibilité et l'extensibilité nécessaires pour développer des extensions telles que des applications de prototypage pour de nouvelles méthodes d'analyse ont été obtenues(Jensen et al., 2007).

Il y a plusieurs raisons pour lesquelles Standard ML a été choisi comme base pour le langage d'inscription modélisation de RDPC et l'implémentation dans les Outils de RDPCs. La définition formelle des réseaux de Petri colorés utilise des concepts tels que les variables, les types, les liaisons et l'évaluation des expressions qui correspondent conceptuellement aux fondements des langages de programmation fonctionnels(Sahin et al., 2020).

Le ML standard est basé sur le calcul lambda, ce qui signifie que toute fonction calculable peut être exprimée et qu'elle possède une sémantique formelle. les Outils de réseaux de Petri colorés repose ainsi sur une base formelle expressive et solide. Le concept de modèles, tel que pris en charge dans Standard ML, fournit une manière élégante d'implémenter la règle d'activation des réseaux de Petri colorés. Enfin, Standard ML est pris en charge par des compilateurs stables et matures tels que SML/NJ(Lee 2008).

La maîtrise du langage de programmation ML de réseau de Pétri coloré est une étape importante pour appliquer avec succès le langage de modélisation RDPC. La raison principale est que Standard ML, et donc le réseau de Pétri coloré ML, est un langage de programmation fonctionnel et a donc une base conceptuelle différente des langages impératifs traditionnels tels que C et des langages de programmation orientés objet tels que Java et C++ que la plupart des utilisateurs connaissent(Paulson 1996).

Une différence clé est que le calcul dans un langage de programmation fonctionnel procède par évaluation d'expressions plutôt que par exécution d'affectations qui apportent des modifications permanentes aux emplacements mémoire. Les expressions dans un langage fonctionnel sont basées sur la définition et l'application de fonctions comme valeurs de premier ordre. Cela implique que les fonctions sont traitées de la même manière que les valeurs de base telles que les entiers, les booléens et les chaînes. Les fonctions peuvent être transmises comme arguments aux fonctions. De plus, les fonctions récursives sont utilisées pour exprimer des constructions itératives au lieu de boucles for et while(Jeffrey 1998).

Une autre différence principale est que le réseau de Pétri coloré ML est fortement typé, ce qui signifie que toutes les variables, expressions et valeurs ont un type qui peut être déterminé au moment de la compilation. De plus, les types d'expressions sont déduits au moment de la compilation par le système RdPC ML plutôt que d'être déclarés par l'utilisateur. Un typage fort rend les programmes plus concis et élimine la possibilité d'appliquer une fonction ou un opérateur à un mauvais type de valeur au moment de l'exécution. le réseau de Pétri coloré ML

permet également des fonctions polymorphes, c'est-à-dire des fonctions qui peuvent opérer sur différents types de valeurs(Jeffrey 1998).

Le langage et l'environnement de programmation de réseau de Pétri coloré ML sont très complets. Cependant, la quantité de programmation de le réseau de Pétri coloré ML requise dépend fortement du système modélisé et de l'approche de modélisation choisie(Jensen 2007).

III.2.7.4.1 JEUX DE COULEURS(COLOUR SETS)

Le langage de réseau de Pétri coloré ML fournit un ensemble prédéfini de types de base hérités du Standard ML qui peuvent être utilisés comme de simples jeux de couleurs. Les jeux de couleurs simples peuvent être utilisés pour définir des jeux de couleurs structurés à l'aide d'un ensemble de constructeurs de jeux de couleurs. La définition des jeux de couleurs utilise le mot-clé colset, par exemple :

```
colset NOM = string;
```

```
colset AGE = int;
```

Les jeux de couleurs NOM et AGE sont définis à l'aide des types de base Standard ML string et int.

```
Colset AGExNOM = product AGE * NOM;
```

L'ensemble de couleurs AGExNOM est défini comme un ensemble de couleurs de produit composé des ensembles de couleurs simples AGE et NOM à l'aide du produit constructeur d'ensemble de couleurs. Les produits peuvent, en général, contenir deux composants ou plus. La figure III -8 montre un exemple de Jeux de couleurs:

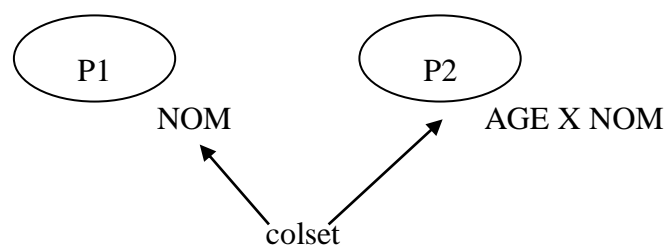


Figure III -8 Exemple de Jeux de couleurs

III.2.7.4.2 LES EXPRESSIONS ET LEURS TYPES

Il existe de nombreux types d'expressions que nous pouvons utiliser dans les modèles de réseau de Petri coloré, par exemple les expressions d'arcs, gardes et marquages initiaux. Les expressions utilisées dans un modèle de réseau de Petri coloré peuvent être beaucoup plus complexes et il est possible d'utiliser l'ensemble complet des expressions Standard ML à condition que l'expression ait le type approprié.

Chaque expression sur un arc doit être d'un type qui est égal soit à l'ensemble de couleurs de la place connectée, soit à un type multi ensemble sur l'ensemble de couleurs de la place connectée. De manière analogue, chaque marquage initial doit être évalué à une valeur dans le jeu de couleurs de la place ou à un multiset sur le jeu de couleurs de la place. Enfin, chaque garde doit être une expression booléenne ou une liste d'expressions booléennes. La figure III -9 montre un exemple d'expressions :

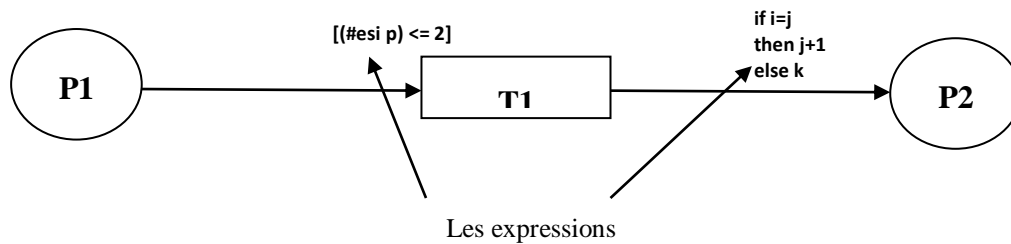


Figure III -9 Exemple d'expressions

III.2.7.4.3 LES FONCTIONS

L'utilisation de fonctions est si importante dans le modèle de réseau de Petri coloré que ces dernières peuvent être utilisées dans les gardes, les expressions d'arc et les marquages initiaux. Les fonctions sont similaires aux méthodes et procédures connues des langages de programmation conventionnels. Les fonctions permettent d'écrire des expressions complexes, désignées par un nom mnémorique bien choisi et appliquées dans le modèle.

Les fonctions permettent de les utiliser souvent dans de nombreuses expressions de formulaire de réseau de Petri coloré, et les fonctions permettent d'implémenter une fonctionnalité une seule fois puis de l'utiliser dans plusieurs parties différentes du modèle de réseau de Petri coloré. Grâce aux fonctions, le modèle de réseau de Petri coloré devient plus concis et plus facile à lire et à maintenir (Jensen 2007). Les fonctions sont définies à l'aide du mot-clé **fun** suivi du nom de la fonction et d'une liste de paramètres séparés par des virgules, Par exemple :

```
Fun calcul (i,j) = if i=j
then j+1
else j;
```

III.2.8 LES OUTILS RdPC

La validation et la mise en œuvre de tout modèle de simulation de réseau de Pétri coloré nécessitent l'existence d'outils informatiques permettant de construire et de manipuler les modèles.

RdPC Tools est un outil permettant de simuler, d'éditer et d'analyser des réseaux de Petri de haut niveau. Il prend en charge les réseaux de Petri de base ainsi que les RpT et les réseaux de Petri colorés. Il dispose d'un simulateur et un outil d'analyse de l'espace d'état est inclus.

RdPC Tools comprend deux composants principaux, un éditeur graphique et un composant de simulation backend. L'éditeur graphique est écrit dans le langage académique BETA et le backend du simulateur est écrit dans la variante Standard ML SML/NJ(Wang 2019).Les outils RDPC sont disponibles pour Windows et Linux.

L'interface utilisateur graphique (GUI) de RdPC Tools n'a pas de barres de menus ni de menus déroulants conventionnels, mais est basée sur des techniques d'interaction, telles que des palettes d'outils et des menus de marquage(Jensen 2007).La figure III -10 fournit une capture d'écran des outils RdPC.

RDPC Tools prend en charge deux types de simulation : interactive et automatique.

- Dans une simulation interactive, l'utilisateur définit les différentes étapes de la simulation, afin qu'il ait un contrôle total, en choisissant entre les événements possibles dans l'état actuel.
- Dans une simulation automatique, l'utilisateur définit un certain nombre de critères d'arrêt et de points d'arrêt ou le nombre d'étapes à exécuter.

Le simulateur RdPC Tools tire parti d'un certain nombre de structures de données avancées pour simuler efficacement de grands modèles RdPC hiérarchiques.

La zone rectangulaire à gauche est l'index contenant la boîte à outils, qui permet à l'utilisateur de manipuler les modules et déclarations qui composent le modèle RdPC. La boîte à outils comprend des outils pour copier, créer et cloner les éléments de base des réseaux CP, ainsi qu'un autre ensemble d'outils pour manipuler l'apparence des objets et la disposition graphique dans le modèle RdPC. Cet ensemble d'outils permet de créer des modèles RdPC faciles à lire et graphiquement attrayants. Le reste de l'écran est l'espace de travail, qui contient dans ce cas quatre classeurs (fenêtres rectangulaires) et un menu contextuel circulaire.

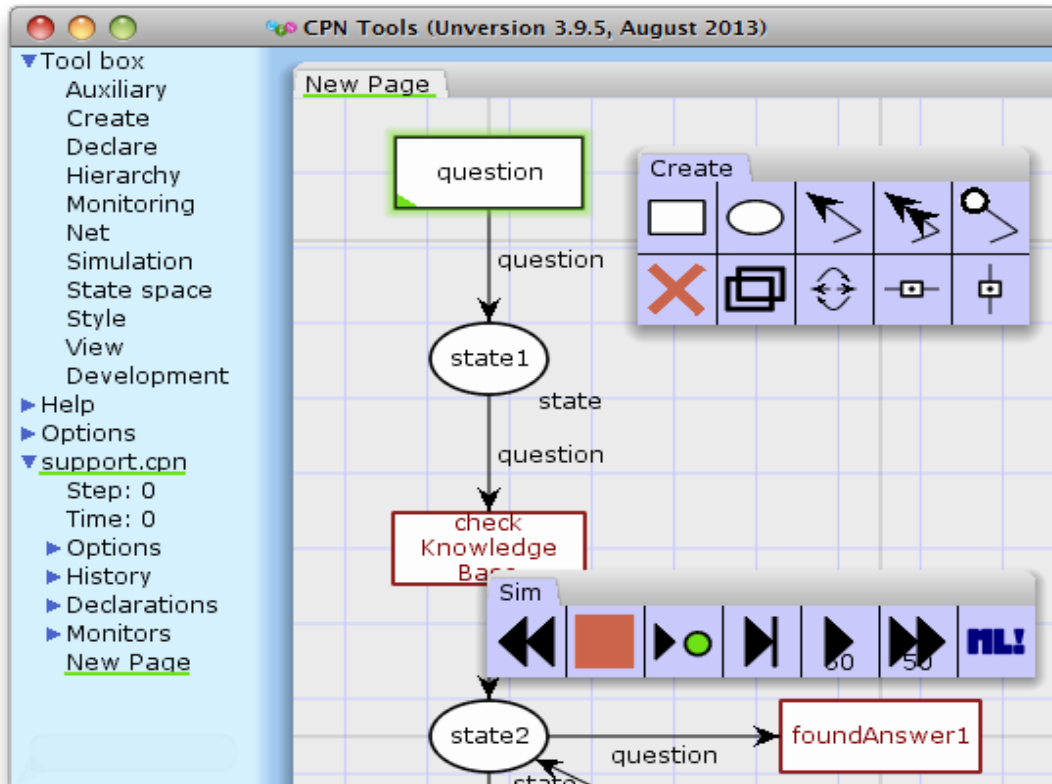


Figure III -10 Capture d'écran des outils RdPC.

III.3. LES RESEAUX DE PETRI DANS LE DOMAINE DE LA SANTE

La modélisation mathématique constitue un vaste domaine des systèmes de santé, reflétant diverses caractéristiques des systèmes de santé. L'objectif principal du développement de tels modèles mathématiques est de simuler, de comprendre et d'améliorer les performances du système de santé, de diagnostiquer les pannes et de comprendre la résilience du système de santé en cas d'événements soudains ou de défaillance(Whittaker et al., 2015).

Afin de suivre l'évolution dynamique de la maladie d'un patient dans le temps, RICCI(Ricci et al., 2022) a créé un modèle de simulation basé sur les réseaux de Petri, dont le but est d'analyser comment les conditions cliniques évoluent dans l'histoire du patient et comment chaque condition interfère avec le développement d'autres Conditions existantes.

Une autre approche proposée par Wang(Wang 2023) vise à mieux contrôler le flux de patients aux urgences. Le service des urgences est modélisé à l'aide de réseaux de Petri. Grâce à cette approche, la problématique du recrutement optimal des travailleurs aux urgences est abordée, en tenant compte de la nature de travail aux urgences, qui requiert des compétences particulières et qui répond à la nature du travail aux urgences. Dans de nombreux systèmes de prestation de services, la quantité de ressources disponibles est souvent un facteur déterminant de la qualité du service. Les ressources peuvent être du personnel, des bureaux, des équipements, des fournitures, etc., selon la nature des services fournis par le système. ZHOU(Zhou et al., 2019) a présenté un modèle de simulation basé sur un RdP, qui fournit toutes les

fonctions importantes requises pour analyser la qualité d'un système de prestation de services en ce qui concerne la fourniture de ressources.

Différentes méthodes de réseaux de Petri peuvent être réalisées, telles que la sécurité du système et la circulation des informations dans le système d'enregistrement des soins de santé au sein de toute institution médicale ou liée à la santé. À cette fin, Khushk(Khushk et al., 2018) a proposé une recherche basée sur les réseaux de Petri, dont le but est de sécuriser le flux d'informations dans le système d'enregistrement des soins de santé au sein de tout établissement médical ou de santé. Une planification efficace avec des ressources durables dans les systèmes de santé est nécessaire à la satisfaction du patient. La recherche proposée(Kang et al., 2019) considère l'amélioration des performances ainsi que la durabilité future. L'objectif principal de cette étude est de minimiser la file d'attente des patients et les ressources nécessaires dans une unité de santé en tenant compte de l'absentéisme du personnel.

Pour surveiller le flux de travail du service de pneumologie et du système de distribution de médicaments, DOTOLO a introduit un modèle de système d'événements distinct qui peut être utilisé comme aide à la prise de décision sur l'intégration des informations afin d'améliorer la logistique d'approvisionnement et de gestion des médicaments. Le RdP a été utilisé pour décrire le flux de travail dans le service de pneumologie de manière concise et détaillée, en tenant compte des différentes politiques de commande et de gestion de la pharmacie du service. El Bazzazi(El Bazzazi et al., 2022) a présenté une recherche basée sur le RdP, dont le but est de résoudre de nombreux problèmes d'organisation de l'hôpital pendant la pandémie de Covid-19. Un modèle de simulation a été créé pour aider le personnel médical se prépare à faire face aux risques qui surviennent pendant la pandémie de Covid 19. La solution proposée permet d'améliorer le temps de recherche de toutes les pièces vides à l'aide de réseau de Petri temporisé.

III.4. L'APPROCHE PROPOSEE

III.4.1. PRESENTATION DU SITE D'EXPERIMENTATION (SERVICE DES URGENCES, HOPITAL HASSANI ABDELKADER SIDI BEL ABBES) :

L'hôpital Hassani Abdelkader est un hôpital universitaire situé dans la ville de Sidi Bel Abbès, à l'ouest de l'Algérie. Il est considéré comme l'un des meilleurs hôpitaux du pays et accueille des patients de plusieurs wilayas d'Algérie. Avec la forte croissance démographique et la situation stratégique de wilaya de Sidi Bel Abbès, l'institution hospitalière de l'hôpital Abdelkader Hassani est devenue la principale destination d'un grand nombre de patients et de blessés, notamment avec l'augmentation significative des accidents en plus de la pandémie que le que le pays a vécu et les conséquences qui en ont résulté. Le service des urgences de l'hôpital Hassani Abdelkader est ouvert 24 heures sur 24, sept jours sur sept et accueille environ 2 826 patients par mois, soit une moyenne de 94 patients par jour, avec des heures d'arrivée différentes, et maladies différentes. Le service des urgences de l'hôpital Hassani Abdelkader est encadré par 6 médecins réanimateurs, 8 chirurgiens, 18 médecins généralistes et 16 résidents et comprend plusieurs services différents : orthopédie, pédiatrie et urgences

CHAPITRE III - Modélisation du système des urgences à l'aide d'un réseau de Petri colorée

(chirurgicales et cliniques), en plus des d'autres départements. Le tableau III-1 montre en quoi consiste le service des urgences :

Tableau III-1 Les Éléments du service des urgences.

la salle	la mission
zone d'administration	Une salle destinée à l'enregistrement des patients admis à l'hôpital.
Zone de diagnostic	Il se compose d'une salle de consultation permettant de confirmer le diagnostic et une première évaluation de l'état du patient.
Laboratoire d'analyses	Dédié uniquement aux examens médicaux des patients arrivant aux urgences.
salle de radiologie	Destiné uniquement aux patients en urgence
salle de soins infirmiers	Une salle utilisée pour les injections, le nettoyage et la suture des plaies.
unité d'observation	L'unité d'observation se compose de 6 salles équipées et désignées pour les patients nécessitant un traitement et une observation.
salle de déchocage	Une salle réservée aux patients les plus gravement malades du service des urgences.

III.4.2. PERSONNEL MEDICAL DU SERVICE DES URGENCES

Afin de répondre à la forte demande de service et de prendre en charge tous les patients arrivant aux urgences, différentes équipes sont constituées dans un délai de 24 heures. Les équipes sont réparties en équipes du matin (8h-14h), du soir (14h-20h) et de nuit (20h-8h). Chaque équipe est composée de :

- Médecin généraliste : Sa mission est de diagnostiquer l'état initial du patient et de l'orienter.
- Trois médecins spécialistes : La tâche de chaque médecin est de diagnostiquer l'état du patient selon la demande du médecin généraliste.
- Six infirmiers : répartis entre la salle de soins infirmiers et l'unité d'observation.
- Quatre techniciens : répartis entre le laboratoire et la salle de radiologie.
- Le pic de demande pour les services d'urgence se situe entre 18 heures et minuit, et le personnel médical appelle généralement à l'aide si nécessaire.

III.4.3. FLUX DE PATIENTS

Le patient arrive seul aux urgences ou en ambulance, où l'infirmière de triage effectue le premier examen. Avec l'émergence de la pandémie de Corona, l'isolement des patients infectés par le virus Corona est devenu nécessaire, car les infirmières de triage transfèrent les patients suspects vers une unité spéciale pour le virus Corona. Comme pour le reste des patients, une première évaluation de l'état du patient est réalisée. L'infirmière de triage catégorise les patients en fonction de l'indice de gravité des urgences (ESI). L'ESI est utilisée pour classer les patients en cinq conditions (critique, urgente, urgente, non urgente et mineure). L'état critique est classé en niveau 1 et niveau 2, où le patient est transféré en urgence vitale (VE) pour être traité par un chirurgien. Si l'opération réussit, le patient est transféré dans l'unité de court séjour de l'hôpital. Le patient y reste moins de 24 heures, puis est transféré dans un autre service. Quant aux cas non critiques, l'examen est effectué par une infirmière puis par un médecin généraliste, après quoi le patient est transféré dans une chambre désignée et reste sous observation médicale. Le patient peut avoir besoin d'examen complémentaires à la demande du médecin ; Dans le cas contraire, il quittera les urgences si son état n'est pas urgent (ESI 4 ou 5). Quant au service des patients atteints du coronavirus, la température corporelle, le sens du goût et le niveau de fatigue du patient sont mesurés. Si les résultats sont négatifs, le patient quitte les urgences et si les résultats sont positifs, un premier examen est effectué via radiographie. Les résultats peuvent apparaître positifs et le patient est transféré en salle de quarantaine. Dans le cas contraire, un test de PCR est réalisé pour le patient, et au bout de trois heures le résultat du test PCR apparaît, et ce dernier confirme si le patient est infecté ou non par le coronavirus. Si l'infection par le virus est confirmée, le patient est transféré en salle de quarantaine. Le patient reste sous observation médicale jusqu'à sa sortie des urgences sur décision du médecin spécialiste.

La figure III -11 montre le parcours du patient à l'intérieur du service des urgences.

III.4.4. LES INDICATEURS CLES DE PERFORMANCE

Les indicateurs clés performance, ou KPI (Key Performance Indicators) sont utilisés pour mesurer la performance du service des urgences, à mesure que les lacunes du système sont identifiées. Parmi les indicateurs clés de performance, nous mentionnons les suivants :

- La durée totale de séjour du patient, ou LOS(length of stay) : elle représente la durée que le patient passe depuis son admission jusqu'à sa sortie du service des urgences.
- Le délai entre l'arrivée d'un patient aux urgences et son entrée dans le cabinet du médecin, ou DTDT(The Door to Doctor Time) : Il s'agit du temps écoulé entre l'arrivée d'un patient et la première consultation médicale.

Nous nous sommes appuyés sur le LOS et le DTDT car le délai d'attente du patient jusqu'à la première consultation est très important. Quant au LOS, on retrouve durant cette période l'examen médical du patient, les délais de consultation, et les délais d'attente du médecin, et d'autres différentes étapes. Ces indicateurs ont été utilisés dans diverses recherches (Vanbrabant et al., 2020 ; Ghanes et al., 2015).

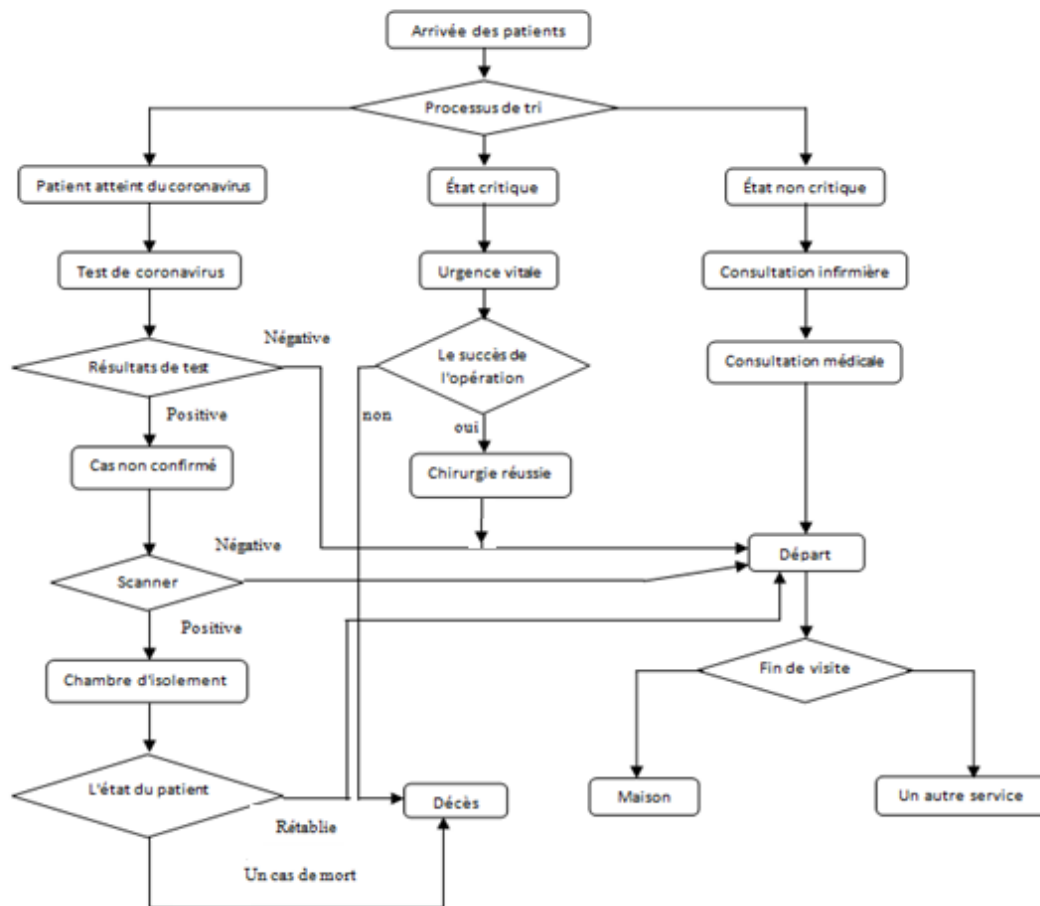


Figure III -11 Le parcours du patient à l'intérieur du service des urgences.

III.4.5. COLLECTE DE DONNEES

La population de cette étude comprend les patients se rendant aux urgences de l'hôpital de Sidi Bel Abbès. Les données ont été collectées à différents jours et heures du mois. Pour une analyse précise des données, des entretiens ont été menés avec la direction, le personnel et les patients du service. L'accent a été mis sur le schéma d'arrivée des patients, la durée des opérations et les probabilités de trajectoire des patients. Plusieurs fonctions de densité de probabilité (distribution uniforme continue, distribution exponentielle continue, distribution discrète) ont été utilisées dans le modèle de simulation (présenté dans le tableau III-2).

Tableau III-2 Les Fonctions de distribution d'entrée de simulation

Paramètre d'entrée	Distribution
Le délai entre l'arrivée de deux patients	Exponential (1/8.0)
Délai du processus d'admission	Discrete (1, 2)
Temps de triage	Discrete (1, 4)
Tests de coronavirus (goût, fatigue, température, Scanner)	Discrete (10, 15)
Période de consultation infirmière	uniform (4, 8)
Période de consultation médicale	Discrete (5, 15)
Période d'opération chirurgicale (VE)	Uniform (60, 180)
Durée du séjour en unité de soins intensifs	Discrete (720, 1440)
Unité de court séjour en hospitalisation	Discrete (600, 960)

Les données recueillies à partir des dossiers des patients et les informations fournies par le personnel hospitalier ont montré que 10 % des patients arrivant au service des urgences étaient des urgences critiques, 20 % étaient des patients à risque modéré et 70 % étaient des cas non graves. Aux urgences, 30 % des patients quittent les urgences après la première consultation médicale, tandis que les 70 % restants nécessitent des examens complémentaires (examens médicaux, radiographies ou soins infirmiers). Ces informations ont été recueillies en 2020 et nous ont été fournies par le chef du service des urgences.

III.4.6. MODELISATION DES OPERATIONS AU NIVEAU DES SERVICES D'URGENCE

Dans cette section, les processus seront modélisés au niveau du SU. Le réseau de Petri colorés est utilisé pour créer le modèle de simulation, en s'appuyant sur les outils RdPC. Les éléments distincts les plus importants du modèle sont les places, les transitions et les arcs. Afin que le modèle soit clair et détaillé, un réseau de Petri coloré hiérarchique est utilisé, de sorte que le modèle de simulation soit divisé en :

- Le modèle principal représenté à la Figure III-16
- Les sous-modèles représentés aux figures III-17, III-18, III-19, III-20 et III-21.

CHAPITRE III - Modélisation du système des urgences à l'aide d'un réseau de Petri colorée

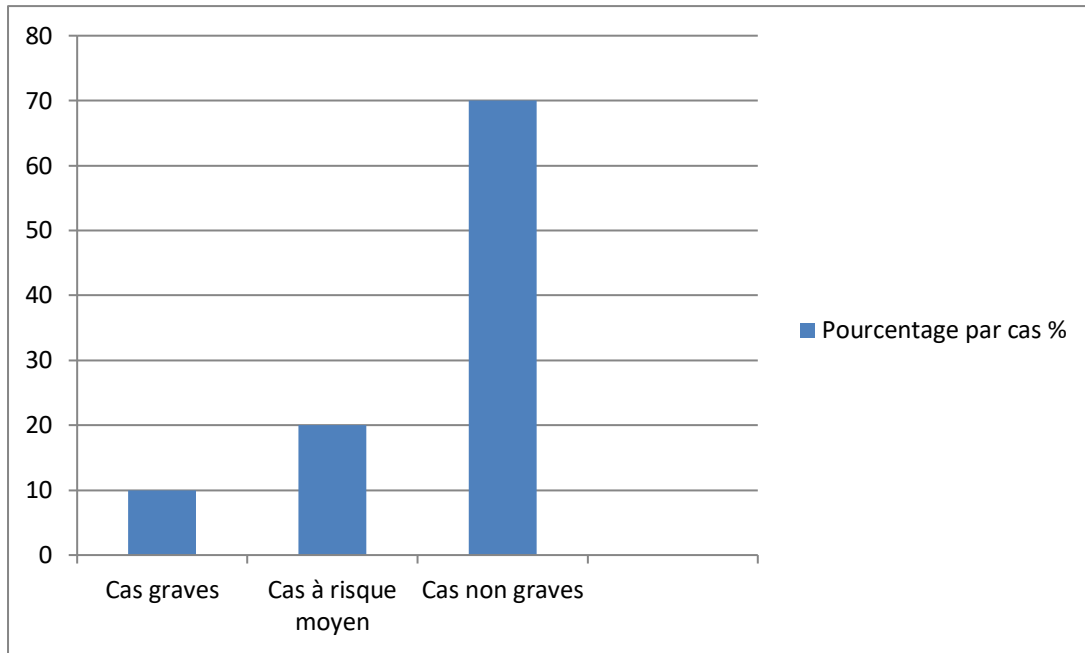


Figure III -12 Le Pourcentage de cas au service des urgences .

Chaque place dans le modèle représente l'état dans lequel se trouve le patient. La figure III -12 représente un exemple des places dans le modèle. Le tableau III-3 représente tous les places du modèle.

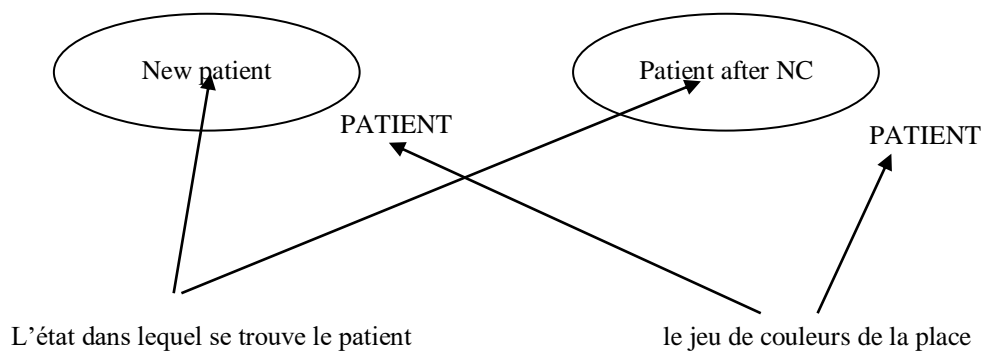


Figure III -13 Exemple de places.

Le passage d'un état à un autre s'effectue dans le modèle de simulation par des transitions. La figure III -13 représente un exemple des transitions dans le modèle. Le tableau III-4 représente l'ensemble des transitions dans le modèle.

CHAPITRE III - Modélisation du système des urgences à l'aide d'un réseau de Petri colorée

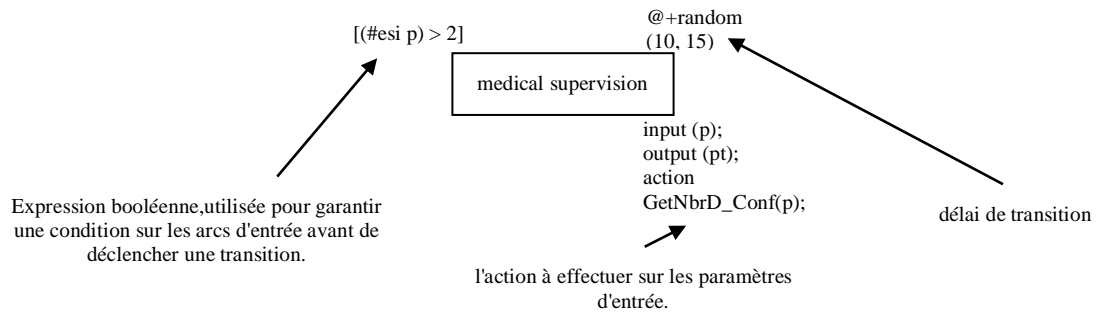


Figure III -14 Exemple de transitions.

Les lieux sont reliés aux transitions par des arcs. La figure III -14 représente un exemple des arcs que l'on retrouve dans le modèle. Le tableau III-4 représente tous les transitions du modèle, et Le tableau III-5 représente toutes les couleur-sets et variables du modèle de simulation.

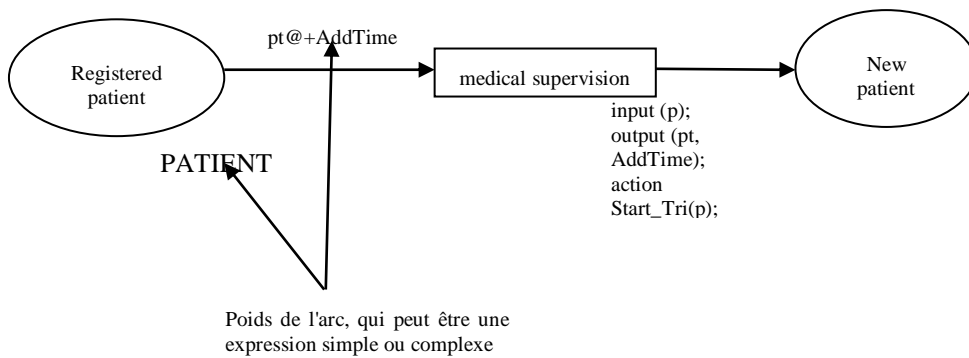


Figure III -15 Exemple de colour-sets et variables.

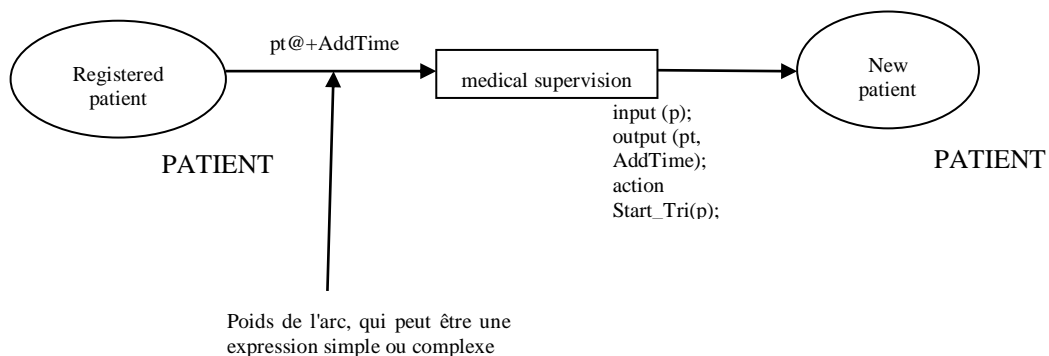


Figure III -16 Exemple des arcs.

III.4.6.1 LA PAGE PRINCIPALE DU MODELE DE SIMULATION

La page principale du modèle de simulation contient 19 places et 18 transitions, dont 6 transitions alternatives, et chaque transition alternative représente une page de sous-réseau, comme le montre la figure III -16.

Les étapes de base du processus sont le triage, l'enregistrement, la consultation médicale, la chirurgie, les tests initiaux, les tests PCR et la sortie du patient. Le modèle représente toutes les étapes par lesquelles passe un patient, de son admission à sa sortie aux urgences. L'admission de chaque patient aux urgences est modélisée par un token dans la place "Nextpatient", qui contient le jeu de couleurs "patient".

Dans ce modèle, nous nous sommes concentrés sur le calcul du temps d'attente du patient à différentes étapes, de la durée moyenne de l'opération à chaque étape, en plus de la durée totale du séjour aux urgences. Nous avons utilisé la fonction de distribution exponentielle pour modéliser l'accès des patients avec une moyenne de 8, calculée sur la base des données obtenues sur deux ans (2019, 2020). Le processus de triage est l'une des étapes les plus importantes de l'urgence. Pendant l'épidémie de Corona, nous avons proposé, à travers le modèle, un processus de triage préliminaire, dans lequel les patients infectés par le virus sont isolés dans un service spécial, tandis que les autres patients sont référés pour traitement, et dans les deux cas, l'ESI(Emergency Severity Index) est utilisé pour classer.

Lors du triage, les infirmières classent trois cas de patients :

- état critique(La partie rouge du modèle).
- état non critique (La partie verte du modèle).
- Patient atteint de coronavirus (La partie bleue du modèle).

La génération automatique des tokens dans le modèle de simulation se fait via une boucle entre la place 'Next patient' et la transition 'Patient arrival', avec le nombre d'itérations spécifié dans l'outil RDPC, Cette boucle est ce qui donne au «New patient» le jeton.

Après avoir enregistré le patient à l'accueil, il subit le processus de triage. La sous-page du modèle de simulation 'Triage' (Figure III -17) montre le processus du premier et du deuxième triage. Dans un premier temps, les patients normaux et les patients infectés par Covid sont triés. le paramètre « TP » est utilisée dans le modèle pour déterminer l'état du patient (tp = 1 Patient normal, tp = 2 Un patient infecté par le coronavirus).Pour les patients normaux, l'approbation est faite. Sur l'entrée ESI pour classer les patients (ESI = 1 etat critique, ESI > 1 etat non critique).

Pour un cas critique, le patient est transféré aux urgences vitales(○VE), où il est opéré si nécessaire, et reste dans cette unité pendant 24 heures, puis il est transféré dans un autre service. La figure III -19 représente les différentes opérations réalisées au niveau de l'unité d'urgence vitale.

CHAPITRE III - Modélisation du système des urgences à l'aide d'un réseau de Petri colorée

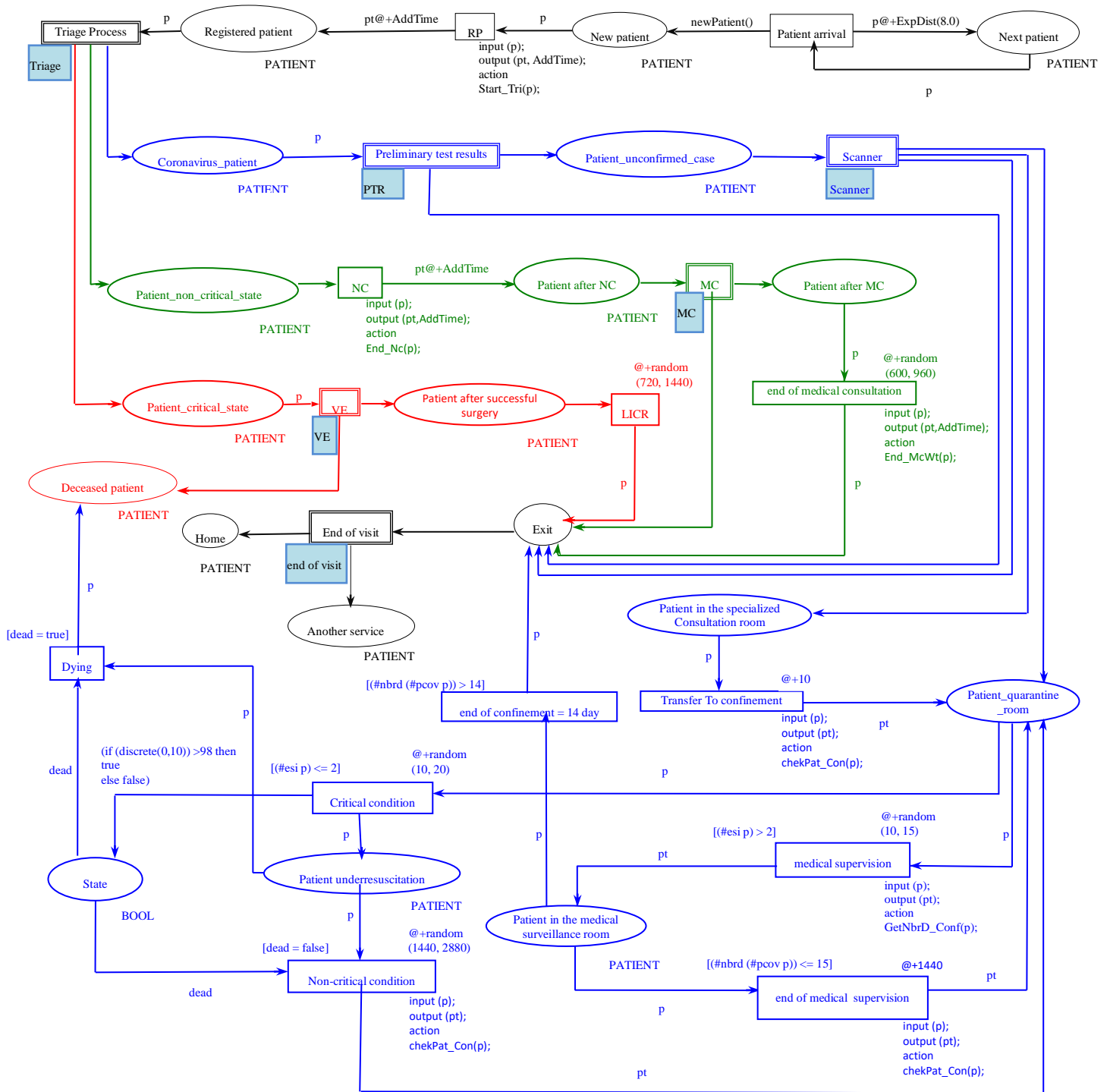


Figure III -17 Le modèle principal du modèle de simulation.

CHAPITRE III - Modélisation du système des urgences à l'aide d'un réseau de Petri colorée

Tableau III-3 Description les places de la page principale du modèle de simulation.

Place	description
New patient	Le patient arrive aux urgences
Registered patient	Patients admis aux urgences
Coronavirus_patient	Patient ou cas suspect de coronavirus
Patient_non_critical_state	Patient dans un état non critique
Patient_critical_state	Le patient est dans un état critique
Patient_unconfirmed_case	Le patient a besoin d'un test de radiologie
Patient in the specialized Consultation room	Cas confirmés
Patient_quarantine_room	Patient dans la salle de quarantaine
Patient_medical_surveillance_room	Patient dans la salle de surveillance médicale
Patient underresuscitation	Patient en salle de réanimation
Patient after NC	Patient après consultation infirmière
Patient after MC	Patient après consultation médicale
Patient_critical_state	Patient dans un état critique
Patient_successful_surgery	Patient après une opération chirurgicale réussie

Pour un cas non critique, le patient est orienté vers la consultation médicale. La sous-page du modèle de simulation illustrée à la Figure III -18 montre les différents processus de la consultation médicale (CM). Le patient quitte les urgences sur décision du médecin, ou des examens complémentaires sont nécessaires.

Pour les patients infectés par le Coronavirus, un premier test est effectué, Si le résultat est négatif, le patient quitte les urgences après avoir consulté le médecin généraliste. Si le résultat est positif, un test PCR est effectué, Après environ 3 heures, le résultat final apparaît, déterminant si le patient est infecté ou non par le virus. Nous expliquons dans les figures III -21 et III -22 les sous-pages « Preliminary test results » et « Scanner », respectivement, Où est expliqué le parcours des patients infectés par le Coronavirus. La destination finale du patient est représentée sur la figure III -23. Selon son état, le patient est orienté soit vers un autre service, soit repart vers son domicile.

CHAPITRE III - Modélisation du système des urgences à l'aide d'un réseau de Petri colorée

Tableau III-4 Description les transitions de la page principale du modèle de simulation.

Transition	description
Patient arrival	Admission du patient aux urgences
RP	Processus d'enregistrement des données des patients
Triage Process	opération de tri
Preliminary test results	Un premier test pour les patients suspects
Scanner	La dernière phase du processus de détection des virus
Transfer To confinement	Transférer le patient en salle de quarantaine
Medical supervision	Observation médicale
End of medicalsupervision	Fin de la surveillance médicale et retour du patient en chambre d'isolement
End of confinement = 14 jour	Le patient quitte la chambre d'isolement
Critical condition	Le patient est dans un état critique
Non-critical condition	Le patient est dans un état non critique
Dying	La mort du patient
NC	Consultation infirmière
MC	Consultation médicale
End of medical consultation	La fin de la consultation médicale et la sortie du patient des urgences
VE	Chirurgie du patient (urgence vitale)
LICR	Le patient quitte la salle de soins intensifs
End of visit	Le patient quitte les urgences ou est transféré dans un autre service

Après avoir construit le modèle de simulation, vient l'étape suivante, qui consiste à vérifier sa validité, ce qui nécessite de faire appel à l'expertise du personnel médical, notamment des infirmières, des médecins et des administrateurs, compte tenu de leur expérience dans ce domaine.

Les résultats de simulation sont comparés aux données réelles, comme le montre le tableau III-6, car les résultats semblent acceptables.

Tableau III-5 colour sets et variables du modèle de simulation

Type de composants	Nom	Description
Colour set	WAITPERIOD	WAITPERIOD est un enregistrement utilisé pour enregistrer les temps d'attente des patients à différentes étapes du « SU ». Il comprend : le triage, la consultation infirmière, la consultation médicale et des tests supplémentaires
/	PHASES	PHASES est un enregistrement utilisé pour sauvegarder les durées des opérations à différentes étapes de l'« ED ». Il comprend le triage, la consultation médicale et un TEST supplémentaire.
	PCOV	PCOV est un enregistrement utilisé pour stocker les résultats préliminaires des tests pour le coronavirus
/	PATIENT	L'enregistrement PATIENT représente la couleur du jeton du patient, il comprend : l'indice de gravité de l'urgence (ESI), l'heure d'arrivée (at), la PHASE (ph), la PÉRIODE D'ATTENTE (wp), la durée totale ('tt'), l'heure de la porte au médecin (dtdt) , tests supplémentaires (addTests), type de patient (TP ; '1' → patient normal ; '2' → patient coronavirus),PCOV('pcov')
/	PATDIR	Un enregistrement utilisé pour déterminer la destination du patient. Lorsque « domicile » = « vrai » → Le patient quitte l'urgence, sinon le patient est transféré vers un autre service.
Variable	p,pt,pd	p', 'pt' , and 'pd' sont des variables de type PATIENT utilisées comme entrée et sortie des fonctions de transitions.
/	AddTime	AddTimeest un entier utilisé pour conserver la durée du processus (transition) en minutes.
/	dead, home	'dead' and 'home' sont des variables booléennes qui spécifient respectivement l'état et la destination du patient.

CHAPITRE III - Modélisation du système des urgences à l'aide d'un réseau de Petri colorée

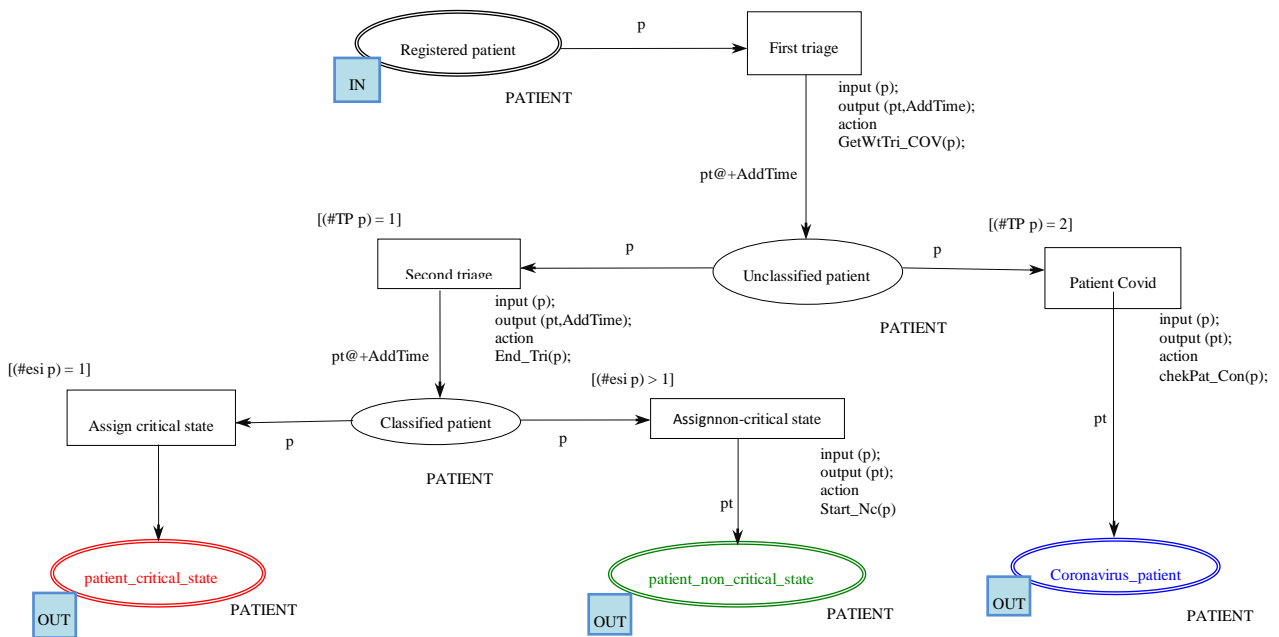


Figure III -18 Page du processus de triage de la transition de substitution Triage dans le modèle de simulation principal.

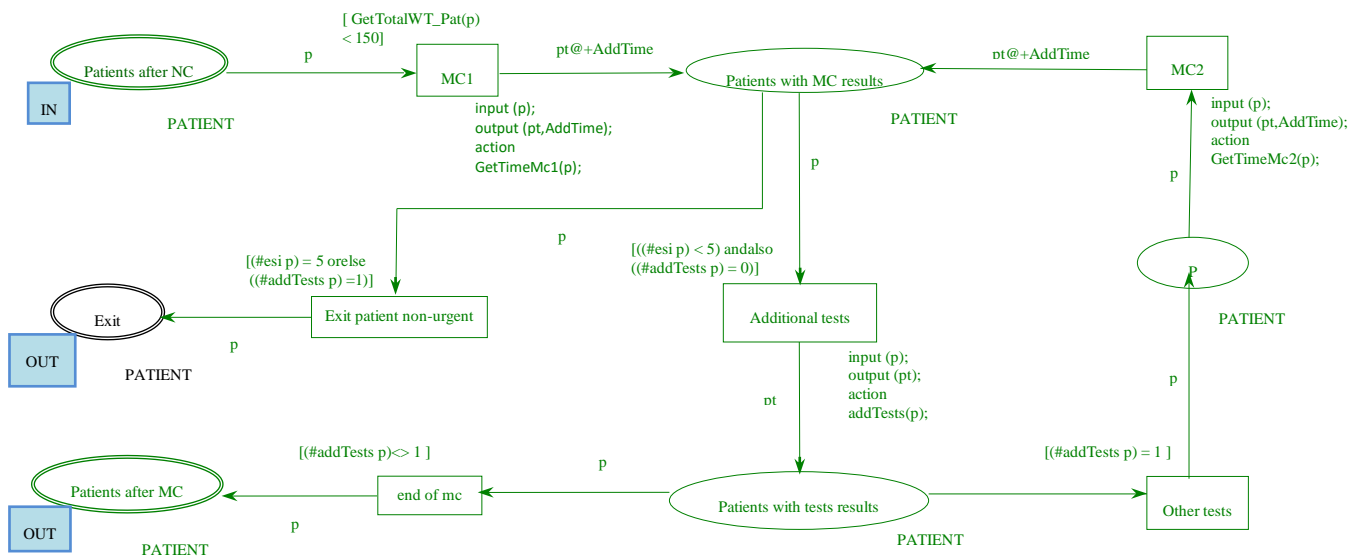


Figure III -19 Page de consultation médicale de transition de substitution MC dans le modèle de simulation principal.

CHAPITRE III - Modélisation du système des urgences à l'aide d'un réseau de Petri colorée

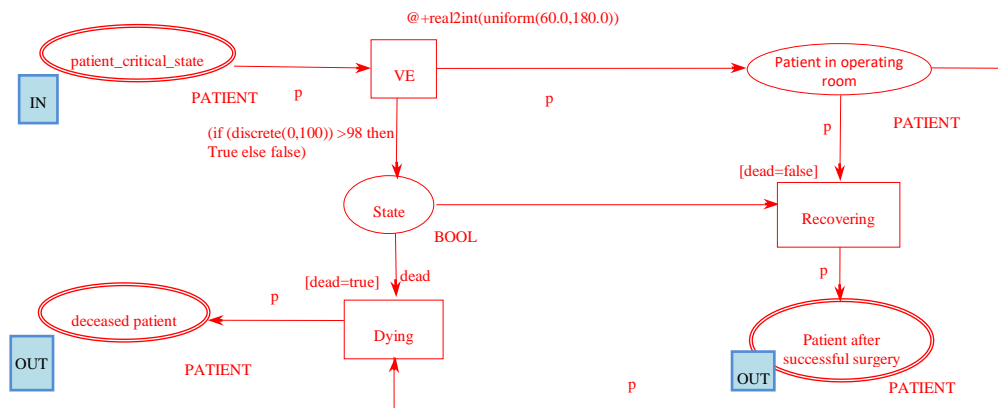


Figure III -20 Page Urgence vitale de la transition de substitution VE dans le modèle de simulation principal.

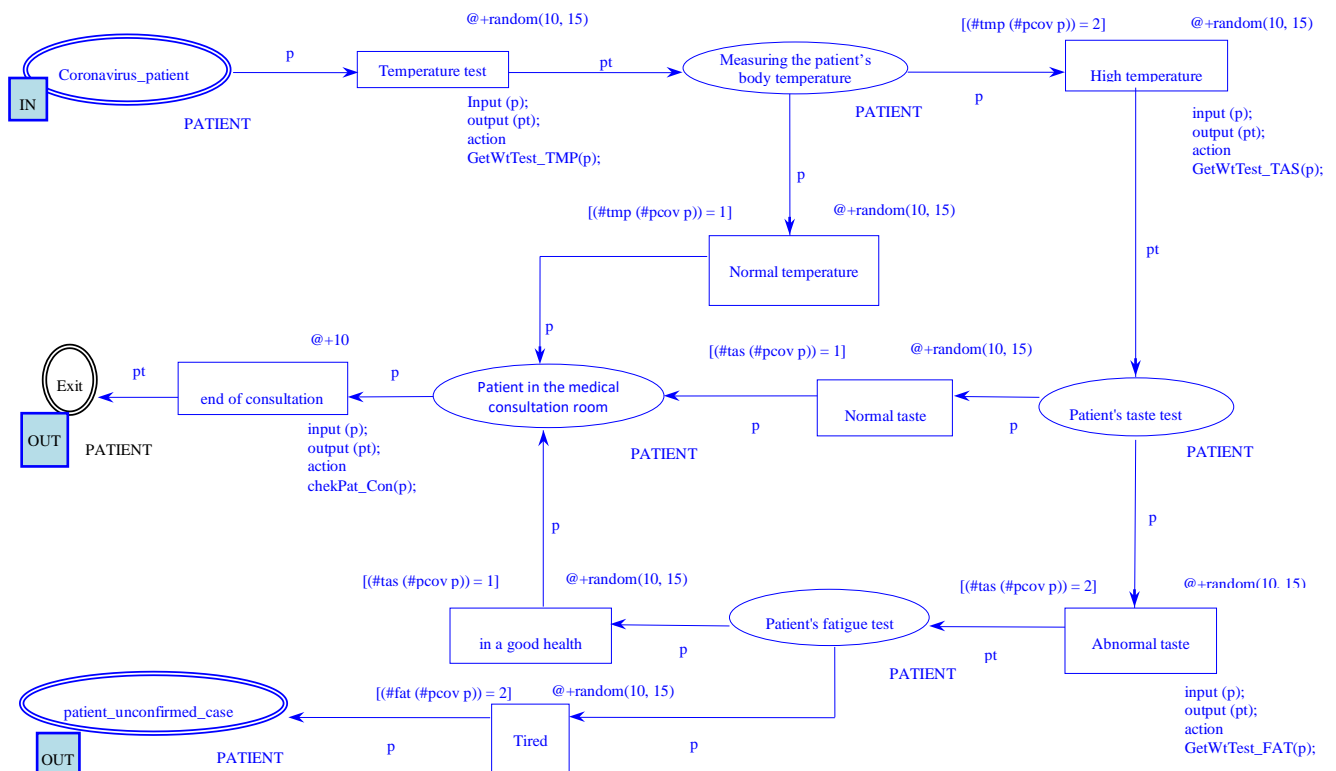


Figure III -21 Page de résultats des tests préliminaires de la transition de substitution PTR dans le modèle de simulation principal.

CHAPITRE III - Modélisation du système des urgences à l'aide d'un réseau de Petri colorée

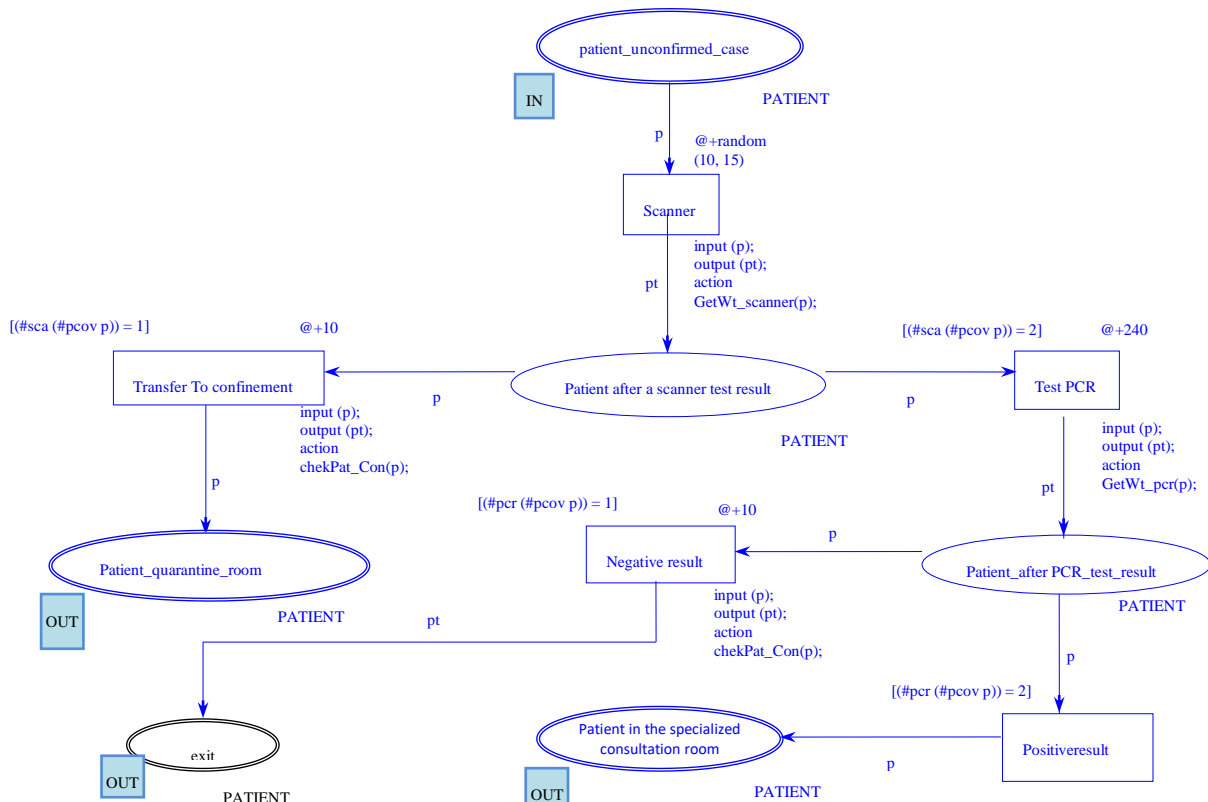


Figure III -22 Page du scanner de transition de substitution Scanner dans le modèle de simulation principal.

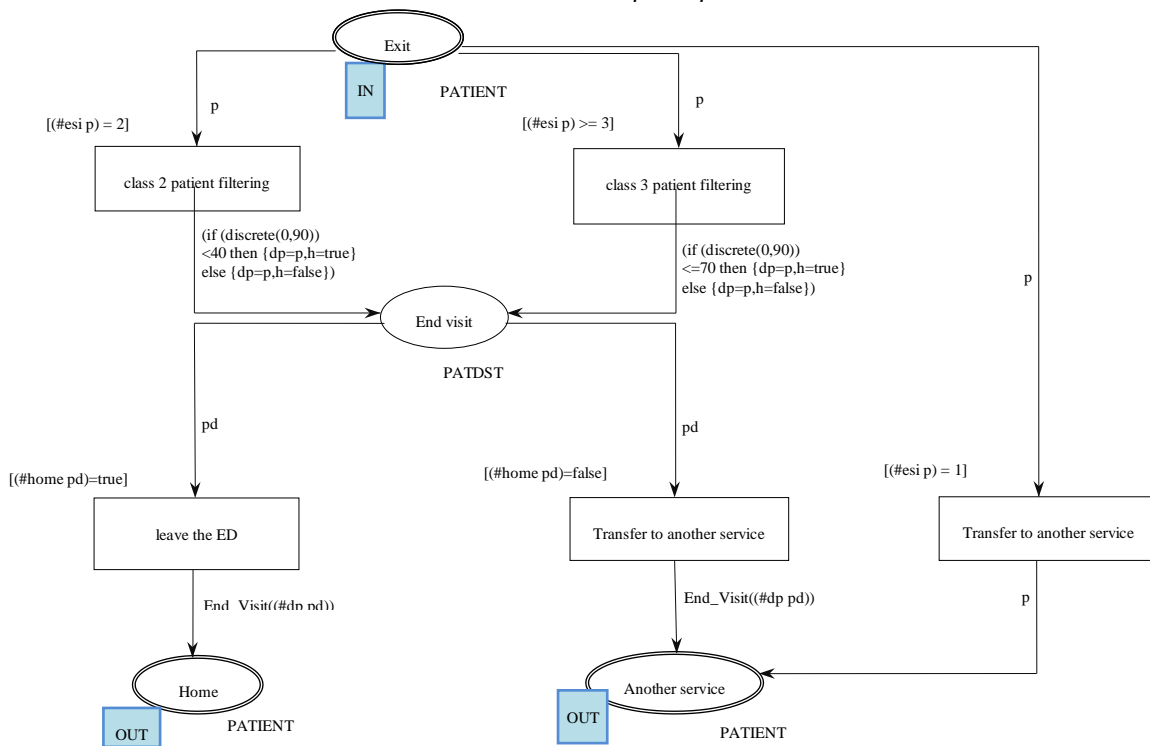


Figure III -23 fin de visite page de substitution transition fin de visite dans le modèle de simulation principal.

Tableau III-6 Données réelles et données de simulation

Indicateurs clés de performance du système		DTDT (min)	LOS (min)	Temps d'attente pour le tri (min)	Temps d'attente pour une consultation infirmière (min)	Temps d'attente pour la consultation médicale (min)
État critique	Données réelles	-	1200	0	-	-
	Données de simulation	-	1270	0	-	-
État non critique	Données réelles	19	515	5	8	6.4
	Données de simulation	21	497	5.5	8.6	6.6
Patient atteint du coronavirus	Données réelles	26	635	7	20	9
	Données de simulation	28.5	617	8.6	21	9.7

III.4.6.2 SCENARIOS D'AMELIORATION SUGGERES

L'objectif principal de ce travail est d'atteindre la solution optimale pour réduire le temps d'attente et la durée de séjour du patient aux urgences. Après avoir créé et exécuté le modèle standard, et analysé les résultats obtenus, il nécessite de proposer plusieurs scénarios. A travers ces scénarios, il faut prendre en compte le coût humain ainsi que le temps que le patient passe aux urgences. Ces scénarios sont proposés avec l'aide de l'expertise du personnel médical, en tenant compte des lacunes du système.

Dans cette approche, deux types de scénarios sont proposés : basique et hybride.

- Scénario de base :
 - Scénario 1 : La situation actuelle du service des urgences, que nous considérons comme référence de comparaison entre les scénarios proposés.
 - Scénario 2 : Ajouter un médecin généraliste à la consultation médicale tout en supprimant la consultation infirmière, afin que le patient soit accepté directement par le médecin généraliste.
 - Scénario 3 : Augmenter le personnel médical en ajoutant un médecin spécialisé.
 - Quatrième scénario : Augmenter les ressources en ajoutant une salle de soins.
 - Cinquième scénario : Ajout d'un médecin spécialisé au service coronavirus.
- Scénarios hybrides :

CHAPITRE III - Modélisation du système des urgences à l'aide d'un réseau de Petri colorée

- Scénario A : Scénario 3 + Scénario 5
- Scénario B : Scénario 2 + Scénario 4 + Scénario 5

Dans ces scénarios, nous avons travaillé sur le changement du personnel médical (scénario 2) ou l'ajout d'une ressource matérielle (scénario 4), avec l'aide de l'expertise du personnel médical. Nous avons exécuté ces scénarios à travers des simulations et obtenu les résultats présentés dans le tableau III-7.

Tableau III-7 Résultats de simulation pour les scénarios proposés

	Scénarios de base					Scénarios hybrides	
	Scenari o 1	Scenari 2	Scenari 3	Scenari 4	Scenari 5	Scenari A	Scenari B
DTDT (min)	50.6	31.68	40.67	50	48.2	38	16.7
LOS(min)	481.5	464.9	472.3	472.1	478.4	457.6	448.6
Temps d'attente total	30.6	24.8	19.6	34	31.5	20.5	8.8
Triage	6.5	5	5	6	6.2	6.4	6
Consultatio n médicale	25.9	26.5	26	20.26	25.08	20.4	25.6

III.4.6.3 DISCUSSION SUR LES RESULTATS

La pandémie de Corona a grandement affecté le flux de travail dans le service des urgences. Grâce à des simulations, nous avons essayé d'atteindre le scénario optimal. Les résultats des scénarios proposés sont présentés dans le tableau III-7, qui visent à réduire le temps d'attente et la durée du séjour du patient. Tout en offrant une meilleure protection de la santé du personnel et des patients pendant la pandémie de Corona. Dans chaque scénario, nous avons calculé des indicateurs de performance clés (DTDT, LOS, délais d'attente, délais de traitement), et à chaque fois nous avons observé des résultats différents. Dans les scénarios de base, le scénario 2 apparaît comme optimal (3,44% pour LOS et 37,4% pour DTDT) par rapport au scénario 1 (état actuel du système), tandis que dans les scénarios hybrides, on observe que le scénario B est optimal, car LOS est a diminué de 6,8% et le DTDT de 66,7% par rapport au scénario standard (scénario 1), et donc le scénario B est optimal par rapport aux autres scénarios (de base et mixte).

III.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, une approche du processus d'amélioration dans le service des urgences a été expliquée en détail. Cette approche est basée sur la simulation et les réseaux de Petri colorés hiérarchiques. Au début du chapitre, nous avons abordé une brève explication des réseaux de Petri et réseaux de Petri colorés, qui constituent un outil puissant permettant de modéliser des systèmes complexes tels que le service des urgences.

Grâce au modèle, une explication détaillée des opérations se déroulant au niveau des services d'urgence est fournie, et c'est le but de l'utilisation du Réseau de Petri coloré hiérarchique, afin que les sous-pages du modèle principal soient utilisées pour simplifier la compréhension de l'un des les étapes au sein du service des urgences.

L'utilisation d'un réseau de Petri coloré nécessite l'utilisation d'outils RDPC, ces derniers étant considérés comme un outil puissant pour construire un modèle de simulation, l'exécuter et obtenir des résultats et des données pouvant être utilisés dans des processus d'amélioration. L'utilisation des réseaux de Petri dans les soins de santé a été discutée.

Après avoir étudié les Points faibles et points forts du service des urgences, un modèle de simulation a été construit comprenant la page principale et des sous-pages.

De nombreux scénarios ont été proposés, Trois scénarios de base et deux scénarios hybrides ont été proposés. Tous les résultats des scénarios ont été comparés sur la base d'indicateurs clés de performance (LOS, DTDT), et nous avons conclu que le scénario optimal était le scénario hybride B.

Dans ce chapitre, nous nous sommes appuyés dans une large mesure sur la modélisation dans les processus d'optimisation, indépendamment de l'utilisation d'algorithmes d'optimisation.

Dans le chapitre suivant, nous discutons d'une autre approche dans le cadre d'opérations d'amélioration aux urgences, s'appuyant sur le réseau de Petri coloré hiérarchique et l'algorithme PSO, afin que le processus de proposition des ressources humaines nécessaires aux urgences se déroule sans intervention du facteur humain ou des décideurs, en s'appuyant uniquement sur les entrées et les données initiales.

CHAPITRE IV :

***L'UTILISATION D'ALGORITHMES
D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES
SERVICES D'URGENCE***

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

IV.1 INTRODUCTION

Les services d'urgence sont actuellement confrontés à de nombreux défis, avec une demande, une population et de nouveaux cas croissants, en plus de ressources limitées. Le service des urgences a récemment retenu l'attention de nombreux chercheurs à la lumière de l'émergence de crises et de catastrophes. Les chercheurs ont utilisé de nombreuses méthodes telles que la modélisation, la simulation, les algorithmes d'optimisation, en plus d'autres méthodes. Dans le chapitre précédent, nous avons proposé une approche de modélisation utilisant un réseau de Petri coloré. Cette approche avait pour but de simuler diverses opérations au niveau des services d'urgence, tout en proposant des solutions d'amélioration. Pour séparer l'intervention de l'élément humain dans la détermination des ressources nécessaires, nous avons proposé deux approches, la première basée sur des algorithmes PSO, et la seconde basée sur des algorithmes génétiques, et dans les deux cas nous utilisons un réseau de Petri coloré pour vérifier les résultats obtenus, par les deux algorithmes.

IV.2 UNE APPROCHE BASEE SUR LES RESEAUX DE PETRI COLORES ET L'ALGORITHME PSO:

IV.2.1 L'OPTIMISATION PAR ESSAIS PARTICULAIRES (PSO)

L'algorithme PSO a été initialement attribué à Kennedy, Eberhart et Shi (Kennedy et al., 1995 ; Shi & RC, 1998) Son objectif était initialement de simuler le comportement social, (Kennedy 1997) comme une représentation simplifiée du mouvement des organismes dans une volée d'oiseaux ou de poissons. Un algorithme a ensuite été développé afin d'être utilisé dans les processus d'amélioration.

L'optimisation par essaim de particules (PSO) est une méthode de calcul qui optimise un problème en essayant à plusieurs reprises d'améliorer une solution candidate par rapport à une mesure de qualité donnée(Bonyadi & Michalewicz, 2017).

Le problème est résolu sur la base d'un ensemble de solutions candidates. Cet ensemble de solutions est appelé particules, et ces particules sont déplacées dans l'espace de recherche selon une équation mathématique simple concernant la position et la vitesse de la particule.

Le mouvement de chaque particule est influencé par son emplacement local le plus connu, mais est également dirigé vers les emplacements les plus connus dans l'espace de recherche, qui sont mis à jour lorsque de meilleurs emplacements sont trouvés par d'autres particules. Cela devrait déplacer l'essaim vers les meilleures solutions.

PSO est une métaheuristique car elle fait peu ou pas d'hypothèses sur le problème à optimiser et peut rechercher de très grands espaces de solutions candidates. De plus, PSO n'utilise pas le gradient du problème à optimiser, ce qui signifie que PSO n'exige pas que le problème d'optimisation soit différentiable comme l'exigent les méthodes d'optimisation classiques telles que la descente de gradient et les méthodes quasi-newton. Cependant, les métaheuristicques telles que PSO ne garantissent pas qu'une solution optimale soit jamais trouvée.

PSO a gagné en popularité parmi les chercheurs et offre des performances élevées dans une variété de domaines d'application, avec le potentiel de s'hybrider et de se spécialiser et de

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

présenter des comportements émergents attrayants. PSO a l'avantage d'avoir moins de paramètres à ajuster. PSO obtient la meilleure solution à partir de l'interaction des molécules, mais à travers l'espace de recherche de grande dimension, elle converge à une vitesse très lente vers l'optimum global (Thangaraj et al., 2012).

IV.2.1.1 STRUCTURE ALGORITHMIQUE PSO

Un essaim de particules met à jour leurs positions relatives d'une itération à l'autre, renforçant ainsi l'algorithme PSO pour effectuer correctement le processus de recherche. Pour obtenir la solution optimale, chaque particule se déplace vers sa meilleure position personnelle antérieure (Pbest) et la meilleure position globale (Gbest) dans l'essaim (Zhang et al., 2016). En supposant un problème de minimisation, on a :

$$P_{besti}^t = x_i^* \mid f(x_i^*) = \min_{k=1,2,\dots,t} (\{f(x_i^k)\}) \quad (1)$$

where $i \in \{1, 2, \dots, N\}$, and

$$g_{best}^t = x_*^t \mid f(x_*^t) = \min_{i=1,2,\dots,N} \min_{k=1,2,\dots,t} (\{f(x_i^k)\}) \quad (2)$$

Où i désigne l'indice de la particule, t est le numéro de l'itération actuelle, f est la fonction objectif à optimiser (minimisée), x est le vecteur de position (ou une solution potentielle) et N est le nombre total de particules dans l'essaim. Les équations suivantes mettent à jour, à chaque itération actuelle $t+1$, la vitesse v et la position x de chaque particule i comme :

$$v_i^{t+1} = wv_i^t + c_1r_1(P_{besti}^t - x_i^t) + c_2r_2(g_{besti}^t - x_i^t) \quad (3)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (4)$$

où v représente le vecteur vitesse, w est le poids d'inertie utilisé pour équilibrer l'exploration globale r_1 et r_2 de l'exploitation locale, et sont des vecteurs aléatoires uniformément répartis dans la plage $[0,1]^D$ (D étant la dimensionnalité de l'espace de recherche ou la taille de le problème en question), et c_1 et c_2 , appelés « coefficients d'accélération », sont des constantes positives.

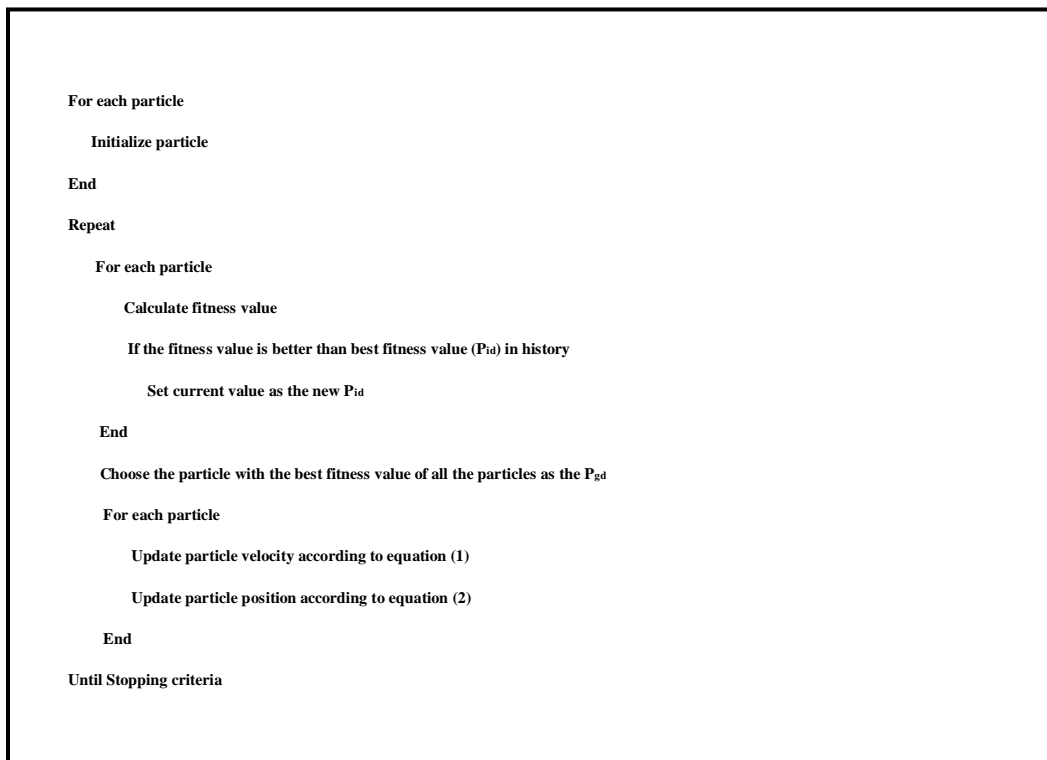
En scrutant l'équation (3), nous pouvons interpréter que la première partie, connue sous le nom de « composante d'inertie », représente la vitesse préalable, qui fournit aux particules l'élan approprié pour se déplacer dans l'espace de recherche. La deuxième partie, la « composante cognitive », désigne la propre positivité de chaque particule. Cela motive les particules à se déplacer vers leurs meilleures positions trouvées jusqu'à présent au cours des itérations suivantes. La troisième partie, connue sous le nom de « composante sociale », indique l'effet collectif des particules pour atteindre la solution optimale globale (Zhang et al., 2014).

IV.2.1.2 PSEUDO CODE

Soit $f: \mathbb{R}_n \rightarrow \mathbb{R}$ une fonction objectif qui doit être simplifiée. Ensuite, la fonction prend un vecteur de N nombres réels désignant N solutions candidates et génère un nombre réel qui

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

indique la valeur de la fonction objectif. Le gradient f est soit difficile à calculer, soit souvent inconnu. Ensuite, le minimum global (gbest) est recherché comme indiqué dans l'algorithme 1.



Pseudo-code de PSO

L'organigramme permettant de démontrer le schéma de base de PSO est représenté sur la figure IV -1.

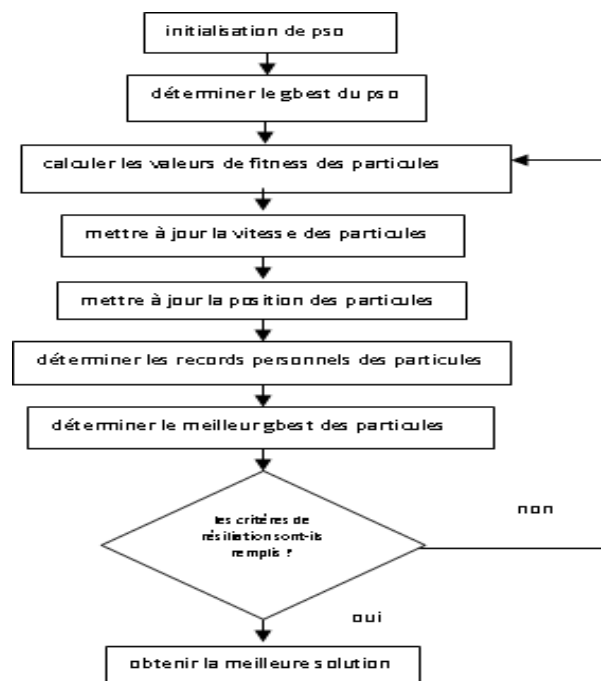


Figure IV -1 Le Schéma de base de PSO (Gad 2022)

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

IV.2.1.3 SELECTION DES PARAMETRES

Le choix des paramètres PSO peut avoir un impact important sur les performances d'optimisation. La sélection de paramètres PSO permettant d'obtenir de bonnes performances a donc fait l'objet de nombreuses recherches.

Pour éviter la divergence (« explosion »), le poids d'inertie doit être inférieur à 1. Les deux autres paramètres peuvent alors être dérivés grâce à l'approche de constriction, ou librement sélectionnés, mais les analyses suggèrent des domaines de convergence pour les contraindre. Les valeurs typiques sont dans [1,3]. (Clerc & Kennedy 2003)

Les paramètres PSO peuvent également être ajustés à l'aide d'un autre optimiseur superposé, un concept connu sous le nom de méta-optimisation(Meissner et al., 2006), ou même affinés pendant l'optimisation, par exemple au moyen de la logique floue(Nobile et al., 2015).

IV.2.1.4 LA CONVERGENCE

La convergence dans le PSO est désignée par deux définitions différentes :

Convergence d'une séquence de solutions (également appelée analyse de stabilité et de convergence) où toutes les particules convergent vers un point de l'espace de recherche, qui peut être optimal ou non.

Convergence vers l'optimum local où le record personnel p ou, alternativement, l'emplacement le plus populaire de l'essaim g , se rapproche de l'optimum local du problème, quel que soit le comportement de l'essaim(Sethuramalingam & Nagaraj, 2016).

IV.2.1.5 APPLICATIONS DU PSO DANS LE DOMAINE DE LA SANTE

L'optimisation par essaim de particules (PSO) est l'un des algorithmes bio-inspirés et il est simple de rechercher une solution optimale dans l'espace des solutions(Allard et al., 2003).De nombreux chercheurs s'y sont appuyés dans de nombreux domaines, comme celui des soins de santé.

Mutlag(Mutlag et al., 2022) a présenté des recherches pendant la pandémie de Corona utilisant le PSO, où il a créé un système de contrôle amélioré pour la distance sociale pour les patients souffrant du coronavirus (COVID-19).Ce système de contrôle utilise des méthodes d'optimisation d'essaim de particules (PSO) et de réseau neuronal artificiel (ANN) pour parvenir à la distanciation sociale. La distance entre le personnel médical transportant les nœuds mobiles et le nœud balise (salle d'isolement) a été déterminée à l'aide de l'indicateur de force du signal reçu du protocole sans fil ZigBee.

Une détermination appropriée de l'arrêt du traitement chez les patients atteints d'un cancer de la prostate métastatique résistant à la castration réduira le taux de mortalité des patients atteints de cancer. À cette fin, Petinri(Petinrin et al., 2022) na proposé Le classificateur de processus gaussien optimisé par essaim de particules (PSO-GPC) pour déterminer quand arrêter le traitement.Sur la base de trois groupes de patients atteints d'un cancer de la prostate, nous proposons et comparons plusieurs classificateurs pour obtenir la meilleure performance dans l'identification des arrêts de traitement.

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

Une autre approche (Liu et al., 2019) de l'optimisation des essaims de particules pour le regroupement des patients des services d'urgence, un nouvel algorithme d'optimisation des essaims de particules (PSO) a été proposé afin d'améliorer la précision des méthodes de regroupement traditionnelles avec des applications dans l'analyse des données de fréquentation des patients en temps réel d'un SU d'un hôpital.

Les services de santé basés sur le cloud computing et l'Internet des objets constituent une formidable opportunité pour le développement des technologies de l'information médicale. La planification des tâches dans le cloud computing est l'un des problèmes les plus importants auxquels sont confrontés les services de santé. À cette fin, Mohamed(Hassan et al., 2022) a proposé une nouvelle méthode pour améliorer la planification des tâches dans les services de santé basée sur le cloud computing dans l'environnement Internet des objets (cloud-IoT). Un algorithme d'optimisation hybride a été proposé qui combine les meilleurs algorithmes d'intelligence en essaim existants et intègre les avantages d'optimisation par essaim de particules (PSO) et de l'algorithme Salp.

La planification des horaires des infirmières est un gros problème, car de nombreux facteurs l'affectent, tels que la couverture, la qualité, la stabilité et la flexibilité. La planification des soins de santé d'aujourd'hui est confrontée à davantage d'exigences et de défis pour répondre aux demandes de soins des patients, ce qui aura certainement un impact sur l'horaire des infirmières. À cette fin, Ramli(Ramli et al., 2016) a utilisé une approche basée sur un algorithme PSO pour créer un horaire approprié pour les infirmières en tenant compte de plusieurs contraintes.

Pour l'échange d'informations infirmières à l'hôpital, une plateforme basée sur l'algorithme PSO est proposée(Xie et al., 2020). La structure principale de l'index du patient a été conçue et la saisie des informations a été complétée. L'algorithme de transfert aléatoire prioritaire des données est utilisé pour transférer les informations infirmières. Le mécanisme de partage d'informations de PSO est analysé et la plateforme de partage est conçue sur la base du placement optimal des particules individuelles.

IV.2.2. L'APPROCHE PROPOSEE

Dans cette section, nous expliquons l'approche proposée, un réseau de Petri coloré hiérarchique est à nouveau utilisé. Cette étude a été menée sur le même SU que ceux définis au paragraphe 3, sauf que le modèle de simulation est modifié, afin qu'il soit ajusté si nécessaire, par exemple le début de la disparition de la pandémie du virus Corona nécessite une restructuration du SU.

Les ressources humaines sont déterminées par l'algorithme PSO, contrairement à l'approche précédente, qui était réalisée par le facteur humain. Dans cette approche, nous avons besoin d'un modèle mathématique qui nous aide à calculer la durée moyenne qu'un patient passe à un moment donné dans le SU.

IV.2.2.1 LE MODELE MATHEMATIQUE

Dans cette approche, un modèle mathématique a été proposé pour résoudre le problème de la durée de séjour d'un patient aux urgences et réduire le temps d'attente. Tout d'abord, les

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

paramètres utilisés dans le modèle mathématique ont été définis et utilisés dans l'algorithme proposé. Le tableau IV -1 montre les paramètres utilisés dans le modèle mathématique.

La fonction objective est ensuite créée pour déterminer la relation entre les ressources disponibles et le temps passé aux urgences. Nous créons la fonction objective comme suit :

$$Min LOS = \sum_{r=1}^R TIME_Rr(Rr, Dr) \quad (5)$$

L'objectif de la fonction objectif est de trouver la valeur la plus basse de LOS, en tenant compte des ressources disponibles.

Tableau IV -1 paramètres du modèle mathématique

Paramètre	Description
P	Nombre de patients
k	Index d'un patient; k = 1, 2,..., P;
T[k]	un tableau contenant le temps passé par chaque patient à la ressource Rr
R	Ressources à la disposition du patient (Triage, consultation médicale, consultation infirmière ...), Par exemple: R[r] =R[1]=3 ça veut dire que nous avons 3 infirmières.
r	Index d'une ressource; k = 1, 2,..., P; (r=1(Triage), r=2(consultation médicale),...).
Dr	Le temps Tk que le patient passe dans la ressource Ri.
Dk	Le temps Tk que le Patient passe sur la ressource Ri, y compris le temps d'attente (Dk+1= Dk+Dr).
S	Périodes totales pour tous les patients par rapport à la ressource Rr(S=SOME (Dk)).
Mr	La durée moyenne de séjour d'un patient dans la ressource Rr (Mr=S/k).

IV.2.2.2 L'ALGORITHME TIME_Rr PROPOSE

L'algorithme TIME_Rr calcule le temps moyen passé par le patient à une certaine étape, l'algorithme prend deux entrées : le nombre de ressources dans chaque étape de l'ED (Rr) et le temps passé par le patient dans chaque ressource (Dr).

```
Input :Rr,Dr
For k = 1: (P divide Rr)
    Dk = Dk +Dr
    For k = 1: Rr
        T[k]= Dk
        k=k+1
    END
END
END
if P mod Rr ≠ 0
    Dk = Dk +Dr
END IF
For k = 1: (P mod Rr)
    T[k]= Dk
    k=k+1
END
For j = 1: P
    S = S+ T[j]
END
Mr = S/P
Output the Mr
```

Output :Mr (average length of stay for a patient in resource Rr)

IV.2.2.3 MODELE DE SIMULATION DU SERVICE D'URGENCE

Les modèles de simulation sont des outils efficaces qui contribuent de manière significative à l'amélioration des processus dans les ED. Ainsi, la création d'un modèle de simulation pour l'ED sera très utile pour évaluer divers scénarios(Kuo et al., 2015). Les modèles de simulation ont été fréquemment utilisés pour modéliser les opérations dans les ED. Dans cet article, l'ED est modélisé à l'aide d'un réseau de Petri coloré. Ce dernier est utilisé pour modéliser des processus synchrones complexes(Naybour et al., 2019).

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

Dans cette étude, un modèle de simulation a été créé à l'aide du réseau de Petri coloré, après une bonne étude du comportement du système, et avec l'aide du personnel médical et administratif. Le modèle de simulation est représenté à la figure IV -2. Le modèle comprend toutes les étapes de base du triage, de l'accueil et de l'observation médicale. A travers le modèle, on note tous les endroits possibles où peut se trouver le patient, selon l'état dans lequel il se trouve.

Nous remarquons dans cette étude que le modèle de simulation diffère du modèle de simulation créé dans le chapitre précédent, en raison du début de la fin de la pandémie de Corona, qui a conduit à la restructuration du modèle des services d'urgence presque comme avant.

Nous remarquons à travers le modèle que les lieux sont caractérisés par le jeu de couleurs PATIENT, ce dernier contient des attributs dont nous avons besoin pour calculer la durée des opérations dans les étapes les plus importantes, en plus des temps d'attente et de la durée totale du séjour. Nous expliquons également dans le formulaire les fonctions des transitions.

Les figures IV -3 et Figure IV -4 montrent respectivement les sous-pages pour les états critique et non critique.

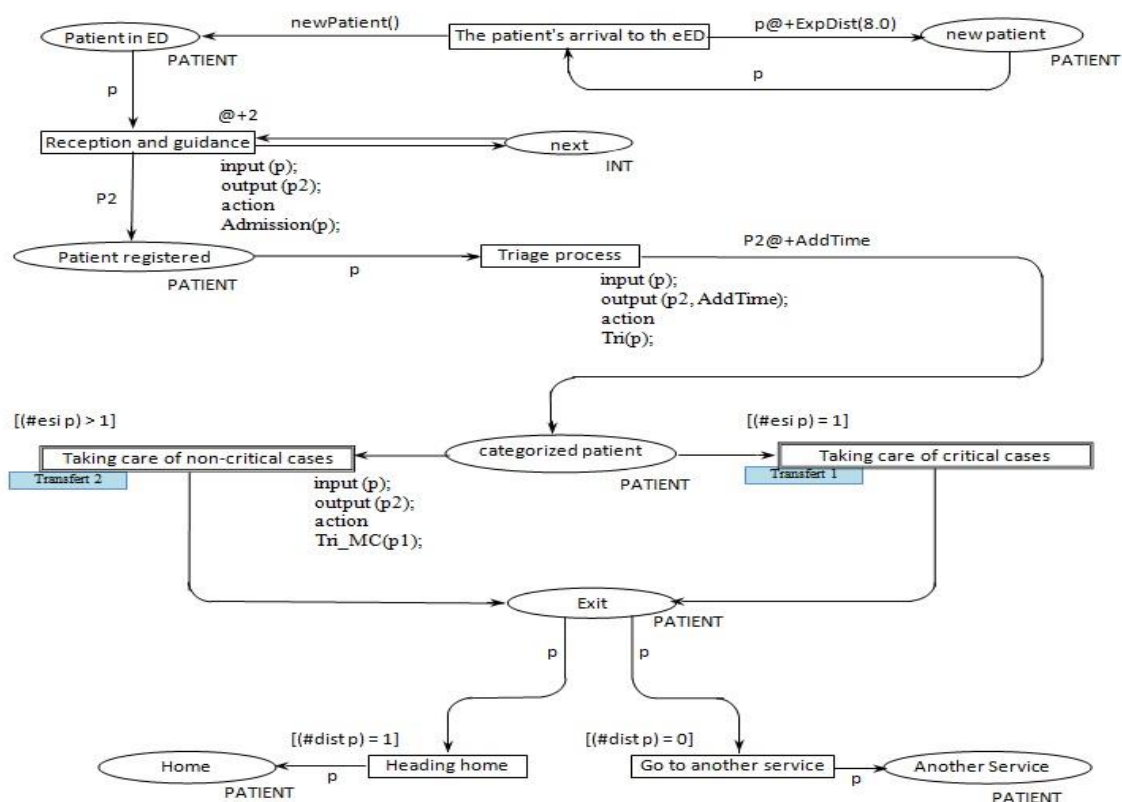


Figure IV -2 Page principale du modèle de simulation ED utilisant un réseau de Pétri coloré.

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

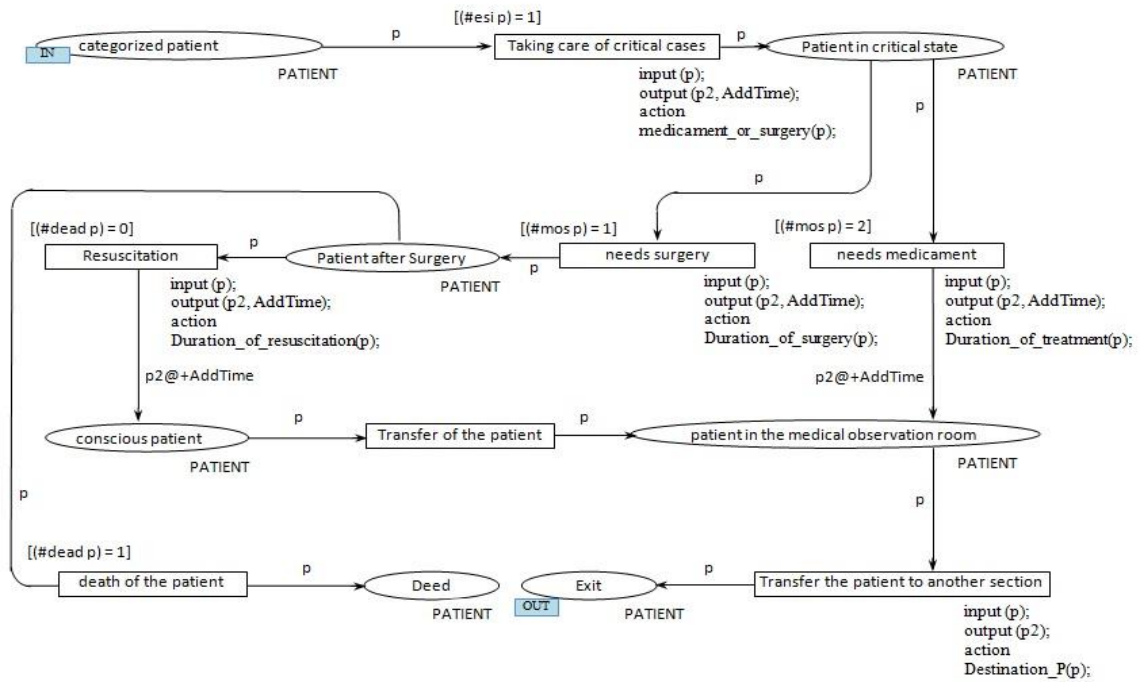


Figure IV -3 Sous-page de la transition de substitution (Transfert 1).

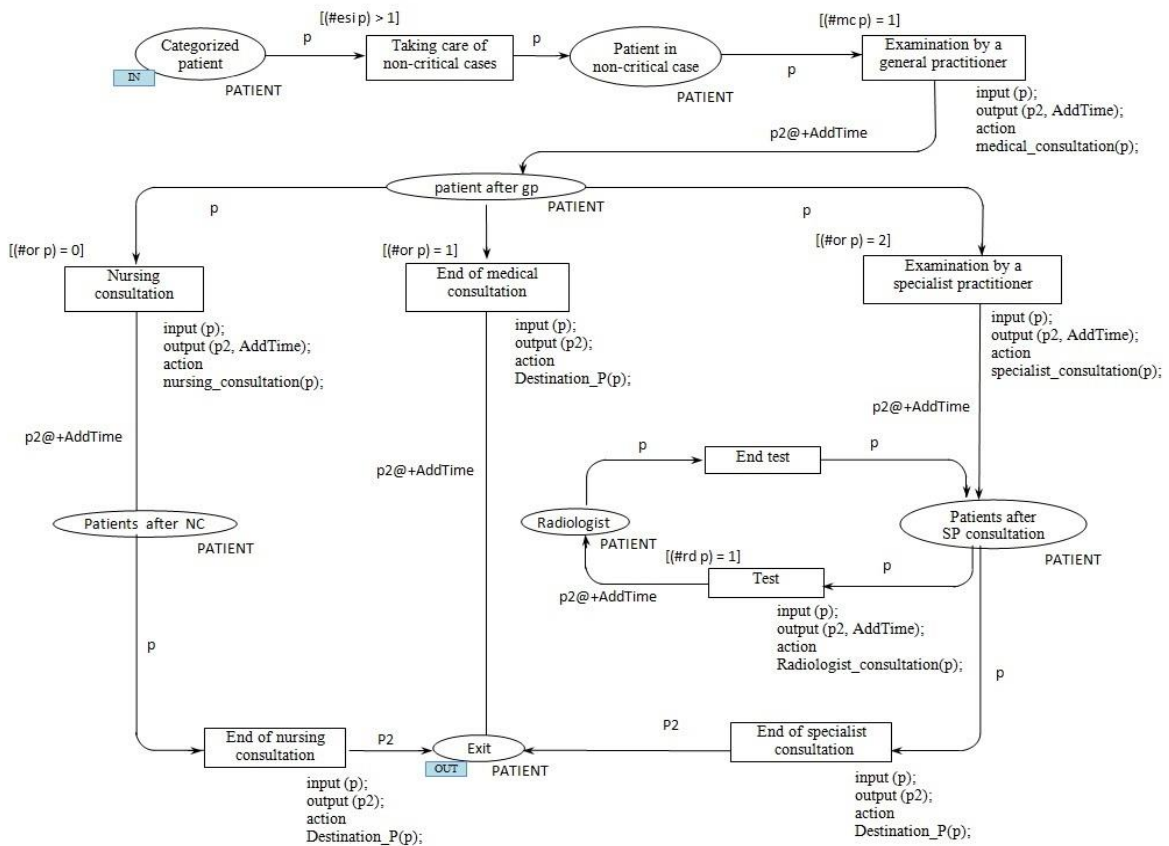


Figure IV -4 Sous-page de la transition de substitution (Transfert 2).

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

IV.2.2.4 DETERMINER LES RESSOURCES A L'AIDE DE L'ALGORITHME PSO

La sélection optimale des ressources au service des urgences est très importante, donc la bonne utilisation des ressources conduit à améliorer la qualité du service et la satisfaction des patients, avec ces limites, le service des urgences doit être plus efficace et agile(Ahsan et al., 2019).

L'utilisation des ressources à l'urgence varie en fonction du besoin et de la période de temps que le patient passe dans chaque ressource. Parmi les ressources les plus importantes dont dispose le patient figurent :

- Consultation infirmière (10 à 20 minutes)
- Médecin généraliste (10 à 15 minutes)
- Praticien spécialiste (10 à 20 minutes)
- Radiologue (10 à 15 minutes)

Dans les algorithmes PSO, les valeurs maximales et minimales sont saisies pour chaque ressource ainsi que la période de temps passée par cette ressource. Chaque variable x dans les algorithmes représente le nombre de ressources disponibles à chaque étape, par exemple, $x = 3$ dans l'étape de consultation médicale signifie que nous avons trois médecins à cette étape.

Nous modifions l'algorithme PSO, où dans la fonction objectif nous utilisons l'algorithme TIME_Rr proposé afin de calculer le temps moyen passé par le patient sur chaque ressource.

IV.2.2.5 CHOIX DES PARAMETRES DE L'ALGORITHME PSO

Le choix des paramètres dans n'importe quel algorithme est très important, afin d'obtenir de bons résultats en peu de temps. Voici les paramètres de l'algorithme PSO :

- MaxIt=1000 : Nombre maximum d'itérations ;
- nPop=100 : Taille de la population (taille de l'essaim) ;
- $w=1$: Poids d'inertie ;
- $wdamp=0.99$: Rapport d'amortissement du poids d'inertie ;
- $c1=1.5$: Coefficient d'apprentissage personnel ;
- $c2=2.0$: Coefficient d'apprentissage global ;

IV.2.2.6 RESULTATS DE LA SIMULATION ET DISCUSSION

L'objectif de cette recherche est de réduire les temps d'attente dans les étapes les plus importantes aux urgences, ainsi que la durée de séjour du patient. Dans un premier temps, un modèle de simulation est créé, après avoir exécuté ce dernier, des résultats préliminaires sont obtenus. Nous implémentons l'algorithme PSO plusieurs fois, le tableau IV -2 montre les résultats obtenus à chaque fois, à chaque exécution les résultats sont différents et nous obtenons un nouveau nombre de HR, avec de nouvelles valeurs pour LOS.

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

Les quatre premières colonnes du tableau IV-2 représentent les ressources obtenues en exécutant l'algorithme PSO, et la dernière colonne représente les résultats de la fonction objectif Min LOS obtenue. Nous construisons trois nouveaux modèles de simulation basés sur les ressources obtenues dans le tableau IV-2, par exemple le premier modèle est basé sur les ressources (la troisième ligne du tableau IV-2), le deuxième modèle basé sur les ressources (la cinquième ligne du tableau IV-2), le troisième modèle basé sur les ressources (la sixième ligne du tableau IV-2). Le tableau IV-3 représente les résultats obtenus en exécutant les trois modèles par rapport au modèle de référence.

Dans le modèle Benchmark nous avons à chaque étape de l'ED deux Ressources, par exemple au stade de la consultation médicale nous avons deux médecins. A travers le tableau IV-3 on constate que la diminution du LOS pour les trois modèles par rapport au modèle Benchmark, est la même pour le DTDT.

Pour le premier modèle, la LOS a diminué de 28,93 % par rapport au modèle Benchmark et le DTDT a diminué de 19,31 %. Quant au deuxième modèle, la LOS a diminué de 26,01 % par rapport au modèle Benchmark, et le DTDT a diminué de 20 %. Pour le troisième modèle, le LOS a diminué de 29,86% par rapport au modèle Benchmark, et le DTDT a diminué de 36,78%. Les valeurs du LOS et du DTDT diffèrent d'un modèle à l'autre, du fait des valeurs différentes des délais d'attente dans les différentes étapes, qui affectent grandement les valeurs de LOS et DTDT, en raison des différentes ressources disponibles à chaque étape. Quant à la durée des opérations à chaque étape, elle change légèrement dans les modèles Les trois.

Tableau IV -2 Résultats de l'exécution de l'algorithme PSO.

Infirmière	Médecin généraliste	Médecin Spécialisé	radiologue	Los
3,41142046	3,68257408	3,742865071	3,931240032	162,3
2,927031712	3,206051346	2,654724191	3,537776772	184,7
2,662088656	3,74586834	4	2,803601184	164
3,7	3,037543257	3,823881538	3,893472739	161,05
2,785013439	2,872661756	3,731443321	2,895002426	185,1
3,787190893	2,910382903	2,651693222	2,946061297	191,95

IV.3 UNE APPROCHE BASEE SUR LES RESEAUX DE PETRI COLORES ET LES ALGORITHMES GENETIQUES

IV.3.1 L'ALGORITHME GENETIQUE (AG)

L'algorithme génétique (AG) est un algorithme métaheuristique inspiré du processus de sélection naturelle qui appartient à la classe des algorithmes évolutionnaires (EA). Les algorithmes génétiques sont couramment utilisés pour générer des solutions de haute qualité aux problèmes d'optimisation et de recherche en s'appuyant sur des facteurs d'inspiration biologique tels que la mutation, la sélection et le croisement(Mitchell 1997). Quelques

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

exemples d'applications de GA incluent l'optimisation des arbres de décision pour de meilleures performances, l'optimisation des hyper paramètres, l'inférence causale, (Burkhart & Ruiz, 2023) , etc.

Tableau IV-3 Résultats de simulation pour les modèles proposés.

	Modèle de référence	Premier modèle	Deuxième modèle	Troisième modèle
Temps d'attente pour une consultation infirmière	80.5	60.5	61.2	50.8
Temps d'attente pour une consultation médicale	61.8	40.8	50.75	55.4
Temps d'attente pour une consultation spécialisée	85.5	50.5	52	61.3
Délai d'attente pour une consultation auprès d'un radiologue	59	40	43.3	50.2
consultation infirmière	18,6	16.3	17,8	16,3
Consultation médicale	12.4	12.5	13.7	14.8
Consultation spécialisée	16.2	18.7	17.6	15.5
consultation de radiologue	14.1	14.3	13.2	13.2
durée du séjour(LOS)	310.4	220.6	229.65	217.7
temps de porte-à-médecin (DTDT)	87	70.2	69.6	55

IV.3.2 PROBLEMES D'OPTIMISATION

En algorithmes génétiques, un ensemble de solutions candidates appelées individus sont développées pour un problème d'optimisation vers de meilleures solutions. Chaque solution candidate contient un ensemble de caractéristiques (chromosomes) qui peuvent être mutées et modifiées ; Traditionnellement, les solutions sont représentées en binaire sous forme de chaînes de 0S et 1S, mais d'autres notations sont également possibles (Whitley 1994).

L'évolution commence souvent par une population d'individus générés aléatoirement, l'ensemble de chaque itération étant appelé une génération. Ce processus se déroule de manière itérative. À chaque génération, La fitness de chaque individu dans la population est évaluée ; La fitness est la valeur de la fonction objectif dans le problème d'optimisation à résoudre.

Les individus les plus aptes sont sélectionnés au hasard dans la population existante, et le génome de chaque individu est modifié pour former une nouvelle génération.

La nouvelle génération de solutions candidates est utilisée dans la prochaine itération de l'algorithme. L'algorithme se termine lorsque le nombre maximum de générations a été

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

produit ou qu'un niveau de condition physique satisfaisant de la population a été atteint. La figure IV -5 montre l'organigramme du processus dans l'algorithme génétique.

Un algorithme génétique typique nécessite une représentation génétique du domaine de solution, ainsi qu'une fonction de fitness pour évaluer le domaine de solution.

La représentation de chaque solution candidate se présente sous la forme d'un tableau de bits (également appelé tableau de bits ou chaîne de bits). Des tables d'autres types et structures peuvent être utilisées essentiellement de la même manière(Whitley 1994).

La principale propriété qui rend ces représentations génétiques pratiques est que leurs parties sont facilement alignées en raison de leur taille fixe, ce qui facilite les opérations de croisement simples(Whitley 1994).

Une fois la représentation génétique et la fonction d'aptitude déterminées, GA procède à l'initialisation d'un ensemble de solutions, puis à leur amélioration grâce à l'application itérative d'opérateurs de mutation, de croisement, d'inversion et de sélection(Whitley 1994).

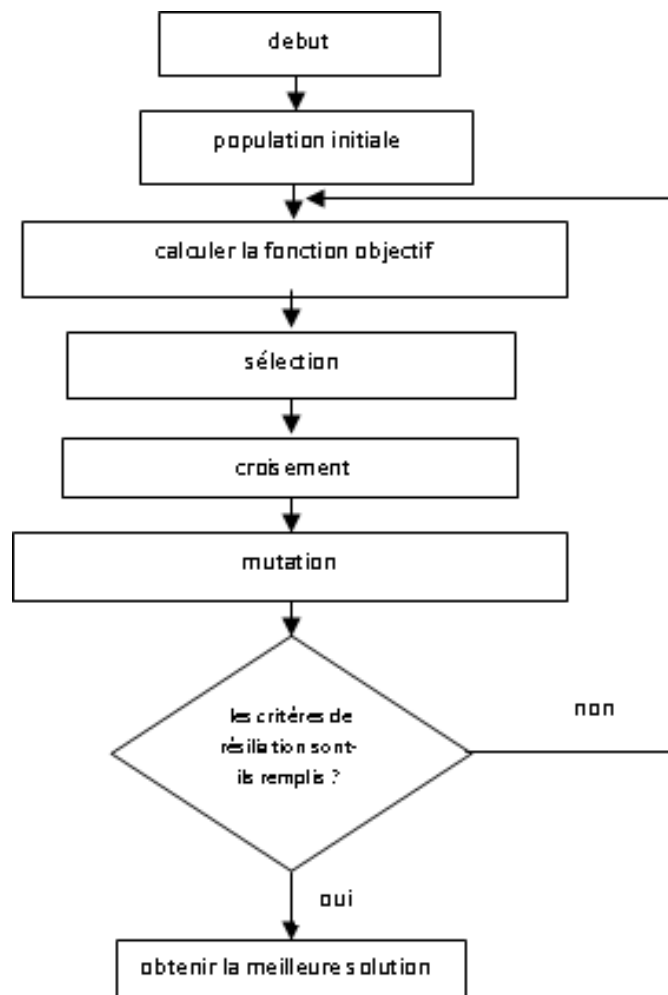


Figure IV -5 Organigramme du processus dans l'algorithme génétique(Albadr et al., 2020).

IV.3.3 LES SIX ETAPES DE L'ALGORITHME GENETIQUE

- **Population initiale :** Le processus commence avec un groupe d'individus appelé population. Chaque individu est une solution au problème que vous souhaitez résoudre. Un individu est caractérisé par un ensemble de variables appelées gènes. Les gènes sont liés en chaîne pour former un chromosome. La figure IV -6 est un exemple de chromosome et de gènes.
- **La fonction fitness :** La fonction fitness détermine la capacité d'un individu à rivaliser avec d'autres individus. Il donne un score de fitness à chaque individu. La probabilité qu'un individu choisisse de se reproduire dépend de son degré de fitness.
- **Sélection:** L'étape de sélection consiste à sélectionner les individus les plus aptes et à leur permettre de transmettre leurs gènes à la génération suivante. Sur la base des scores de fitness, deux paires d'individus (parents) sont sélectionnées. Les individus en bonne fitness sont plus susceptibles d'être sélectionnés pour la reproduction.
- **Croisement :** Le croisement est l'étape la plus importante de l'AG. Pour chaque paire de parents à s'accoupler, le point de croisement est choisi au hasard entre les gènes. La figure IV -7 est un exemple de croisement.

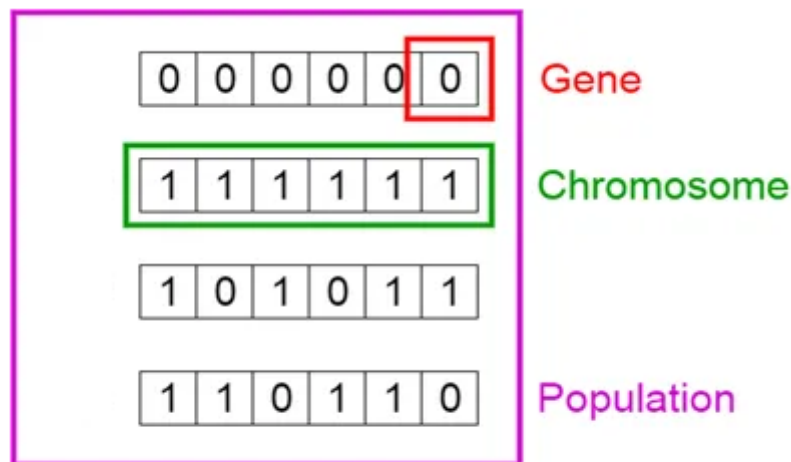


Figure IV -6 un exemple de chromosome et de gènes.

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

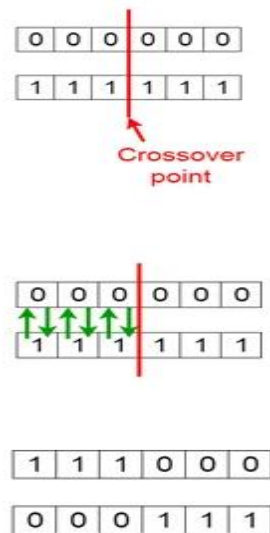


Figure IV -7 un exemple de croisement.

- **Mutation:** Chez certains descendants nouvellement formés, certains de leurs gènes peuvent être susceptibles de subir une mutation avec une faible probabilité aléatoire. Une mutation modifie une ou plusieurs valeurs génétiques dans un chromosome par rapport à son état initial. En cas de mutation, la solution peut complètement changer par rapport à la solution précédente. Par conséquent, GA peut trouver une meilleure solution en utilisant la mutation.
- **Terminaison:** Ce processus de générations est répété jusqu'à ce qu'une condition de fin soit atteinte. Par exemple, un nombre fixe de générations atteint ou une solution satisfaisant un critère minimum est trouvé.

IV.3.4 APPLICATIONS LES ALGORITHMES GENETIQUES DANS LE DOMAINE DE LA SANTE

Les algorithmes génétiques (AG) sont un type de technique d'optimisation informatique inspirée des principes de la sélection naturelle et de la génétique. Ils sont utilisés pour résoudre des problèmes complexes en imitant le processus d'évolution afin d'améliorer de manière itérative une population de solutions potentielles. Les algorithmes génétiques ont été utilisés dans de nombreuses recherches et domaines, tels que les soins de santé.

La planification des patients est un problème très complexe, il est impossible d'établir un planning qualitatif manuellement ou même en utilisant des heuristiques précises. À cette fin, Podgorelec(Podgorelec et al., 1998) a développé une puissante méthode de planification automatisée pour des situations très contraintes, basée sur des algorithmes génétiques et l'apprentissage automatique.

La planification du traitement des patients constitue un défi majeur. Afin d'analyser, d'optimiser et de valider les processus hospitaliers, il est nécessaire de développer des modèles validés et exécutables. À cette fin, Kuehn(Kuehn et al., 2012) a proposé une

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

approche permettant d'améliorer automatiquement la planification des patients, de réduire le temps de traitement et d'améliorer l'utilisation des ressources dans un centre de cancérologie à l'aide d'algorithmes génétiques.

Une autre approche mixte présentée par Abderrahmane(Abderrahmane et al., 2019) vise à déterminer la taille des ressources hospitalières en cas d'afflux massif de victimes résultant de catastrophes. Cette approche s'appuie sur un AG avec l'utilisation d'un outil de simulation (ARENA) et d'apprentissage automatique (réseaux de neurones).

Pour évaluer les besoins en personnel pour les activités actuelles et futures de l'hôpital, Apornak(Apornak et al., 2020) a réalisé un travail dans lequel il a utilisé des algorithmes génétiques. Fuzzy Delphi a été appliqué à un ensemble de données pour déterminer les facteurs influençant l'amélioration des ressources humaines. En ce qui concerne les coûts des ressources humaines, une composition adaptée a été créée, à travers ces dernières : le nombre de spécialistes, de médecins généralistes et d'infirmières est déterminé en trois équipes.

Afin de planifier le flux de travail des infirmières, Leksakul(Leksakul & Phetsawat, 2014) a utilisé l'AG. Un modèle de planification des infirmières a été développé, tout en maintenant le plus haut niveau de service. Ce modèle réduit simultanément les coûts de personnel hospitalier et répartit équitablement les salaires des heures supplémentaires.

IV.3.5 L'APPROCHE PROPOSEE

Dans cette approche proposée, un réseau de Petri coloré régulier est utilisé, contrairement à l'approche précédente où un réseau de Petri coloré hiérarchique était utilisé, de sorte que, sur la base du modèle de l'approche précédente, les différents processus et étapes qui peuvent être simplifiés sont simplifiés, afin d'obtenir un modèle simplifié. Cette étude a été menée sur le même SU spécifié dans la section 3. Les ressources humaines sont déterminées par un algorithme génétique, tout comme l'approche précédente sans intervention du facteur humain.

IV.3.5.1 ORGANIGRAMME DE GESTION DES PATIENTS

Nous montrons tous les parcours qu'emprunte un patient aux urgences dans la figure IV -8, Nous construisons un modèle de simulation basé sur ce schéma. Une fois que le patient arrive aux urgences, seul ou en ambulance, le patient est trié par l'infirmière de triage. Selon l'état du patient, deux cas sont classés : critique et non critique. Dans cette étude, l'indice de gravité des urgences (ESI) est utilisé, de sorte que les cas critiques sont classés au premier niveau, tandis que les cas non critiques sont classés à d'autres niveaux (5, 4, 3, 2).

Pour les patients dans un état grave, ils sont transférés directement au bloc opératoire. Après le succès de l'intervention chirurgicale, le patient est transféré en salle de réveil puis en unité de court séjour pour une durée n'excédant pas 24 heures, après quoi le patient est transféré dans un autre service. Pour les patients dont l'état n'est pas grave, certains d'entre eux nécessitent une consultation infirmière, tandis que la majorité des patients sont orientés vers une consultation médicale . Certains cas nécessitent un avis médical spécialisé. Lors d'une consultation médicale spécialisé, la plupart des cas nécessitent des examens complémentaires. Après avoir obtenu les résultats d'examens complémentaires, le médecin spécialiste décide s'il doit transférer le patient dans un autre service de l'hôpital, ou s'il quitte les urgences.

IV.3.5.2 MODELE DE SIMULATION SIMPLIFIE

Grâce à notre étude du comportement du système, le modèle de simulation a été créé, avec l'aide du personnel médical et administratif. La figure IV -9 montre les éléments de base du modèle. Les éléments les plus fondamentaux du modèle sont le processus de triage, la consultation médicale générale et spécialisée, la chirurgie, les tests supplémentaires et l'orientation du patient. Grâce au modèle, chaque place représente l'état dans lequel le patient pourrait se trouver.

Les parcours qu'emprunte le patient varient en fonction de son état (état critique, état non critique), ou d'une des étapes au sein du service des urgences (consultations infirmières, médicales et privées). Le tableau IV-4 montre les places du modèle de simulation et le tableau IV-5 montre les transitions. L'accès des patients aux urgences est marqué par un jeton à la place où le patient est arrivé. Cet endroit présente une gamme de couleurs PATIENT. Ce dernier comprend un ensemble d'attributs permettant de calculer la durée des opérations pour toutes les étapes, les temps d'attente, le LOS et le DTDT.

Dans ce modèle, nous utilisons P et P2 comme variables de type de patient. Ces variables sont utilisées comme entrées et sorties des fonctions de transition. L'arrivée des patients est modélisée par une fonction de distribution exponentielle de moyenne 8,5, et ce paramètre est calculé sur la base des données collectées. L'ESI est utilisé sur chaque patient dans le processus de triage. Nous remarquons dans le modèle de simulation qu'il existe plusieurs transitions, chaque transition caractérisée par quatre caractéristiques : le nom de la transition, la garde, l'expression du délai et l'expression du segment de code.

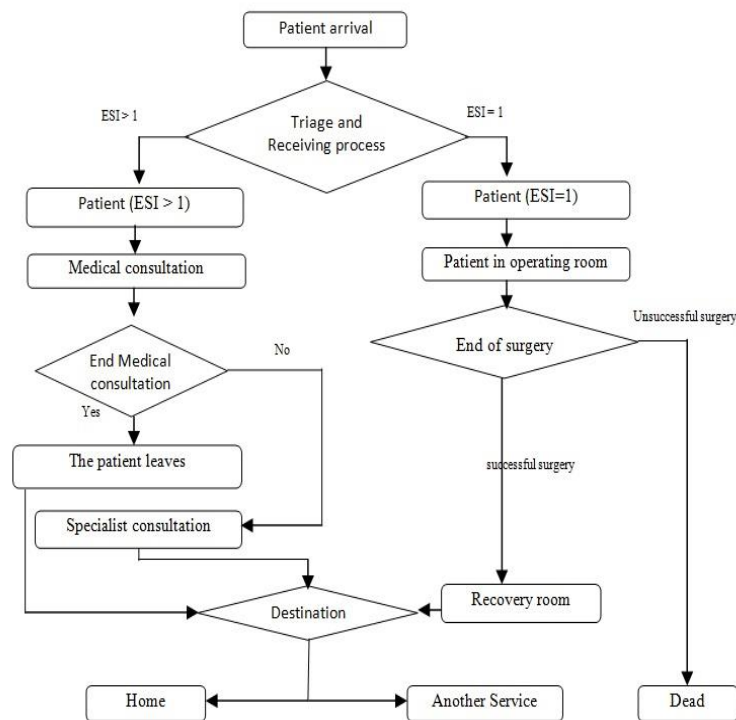


Figure IV -8 Parcours du patient aux urgences

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

Après avoir enregistré les données du patient, celui-ci subit un tri pour être classé en deux catégories : cas critiques et non critiques. Il existe plusieurs fonctions dans le modèle, telles que la fonction de calcul de la durée de la consultation médicale (MC_Time) et la fonction de triage (Reception_time).

Les fonctions sont utilisées pour mettre à jour les propriétés de colorset du patient, ainsi que pour calculer les temps à différentes étapes. Les jetons lors de leurs transitions peuvent subir une fonction de garde, par exemple en fonction des valeurs ESI auxquelles le patient est classé. Le modèle est validé en partageant les opinions des médecins et du personnel et en comparant les résultats de la simulation du modèle avec des données réelles.

IV.3.5.3 IDENTIFICATION DES RESSOURCES A L'AIDE DE L'ALGORITHME GENETIQUE

Dans cette section, nous utilisons des algorithmes génétiques pour déterminer le nombre de ressources appropriées dans un ED. La population initiale représente le nombre de ressources humaines pour chaque étape de l'urgence, y compris toutes les étapes de triage, les consultations médicales et les tests supplémentaires. On exprime la fonction objectif dans Los :

$$\text{Min los} = \sum_{i=1}^N A_{\text{los}}(x(i)) \quad (6)$$

N Nombre de ressources.

i Index d'une ressource ; $i = 1 ; 2 ; \dots ; N$;

x(i) Ressources disponibles à chaque étape de l'urgence par exemple : $x(1) = 2$, nous avons deux infirmières en phase de consultation infirmière.

A_lo : Une fonction qui calcule la durée moyenne qu'un patient passe dans la ressource i .

Nous implémentons plusieurs fois des algorithmes génétiques, chaque fois que nous obtenons de nouvelles solutions, nous modifions les ressources obtenues dans le model de simulation et nous comparons les résultats.

IV.3.5.4 CHOIX DES PARAMETRES DE L'ALGORITHME GENETIQUE

Pour les algorithmes génétiques, le choix des paramètres est important. Voici les paramètres de l'algorithme génétique :

- MaxIt=100(Nombre maximum d'itérations) ;
- nPop=100 (Taille de la population) ;
- Taux de mutation =0.5.
- Taux de croisement = 0.8.
- Méthode de sélection = la méthode de sélection par tournoi.

IV.3.5.5 RESULTATS DE SIMULATION ET DISCUSSION:

Après avoir étudié le comportement du système, nous avons constaté que les ressources les plus exploitées aux urgences sont les consultations médicales générales et spécialisées, les soins infirmiers et les examens complémentaires. Quant à la ressource de réception et de tri, la période reste quasiment constante. Le but de cette recherche est de réduire la LOS et la DTDT. Après avoir développé le model par réseau de petri coloré, nous l'avons exécuté pour la première fois et enregistré les données brutes. Ensuite, nous exécutons l'algorithme génétique plusieurs fois, et à chaque exécution, nous obtenons de nouvelles données, ces données sont donc analysées à chaque fois. L'objectif de l'exécution d'algorithme génétique est d'obtenir les valeurs de LOS les plus basses avec un nombre approprié de ressource.

Les tableaux IV-7, IV-8 et IV-9 représentent les résultats obtenus en exécutant des algorithmes génétiques. Les quatre premières colonnes des tableaux IV-7, IV-8 et IV-9 représentent le nombre de ressources obtenues et la cinquième colonne représente la fonction objectif calculée. Après avoir déterminé le nombre approprié de ressources, nous reconstruisons le modèle de simulation en fonction des nouvelles ressources, exécutons à nouveau la simulation et obtenons de nouveaux résultats représentés dans le tableau IV-6. Dans la deuxième colonne du tableau IV-6, nous trouvons les résultats de simulation pour le modèle initial. La troisième colonne du tableau IV-6 représente les résultats de simulation utilisant les ressources obtenues dans le tableau IV-7. La quatrième colonne du tableau IV-6 représente les résultats de simulation utilisant les ressources obtenues dans le tableau IV-8. La cinquième colonne du tableau IV-6 représente les résultats de simulation utilisant les ressources obtenues dans le tableau IV-9.

À partir du tableau IV-6, nous constatons que LOS a diminué de 18,24 % pour la première simulation par rapport au modèle de base, tandis que le DTDT a augmenté d'un faible pourcentage, en raison de l'absence d'ajustement des ressources lors de la phase de consultation infirmière. Pour le deuxième modèle, la LOS a diminué de 22,22 % par rapport au modèle de base et le DTDT de 26,75 %. Pour le troisième modèle, la LOS a diminué de 18,7 % et le DTDT de 23,94 % par rapport au modèle standard.

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

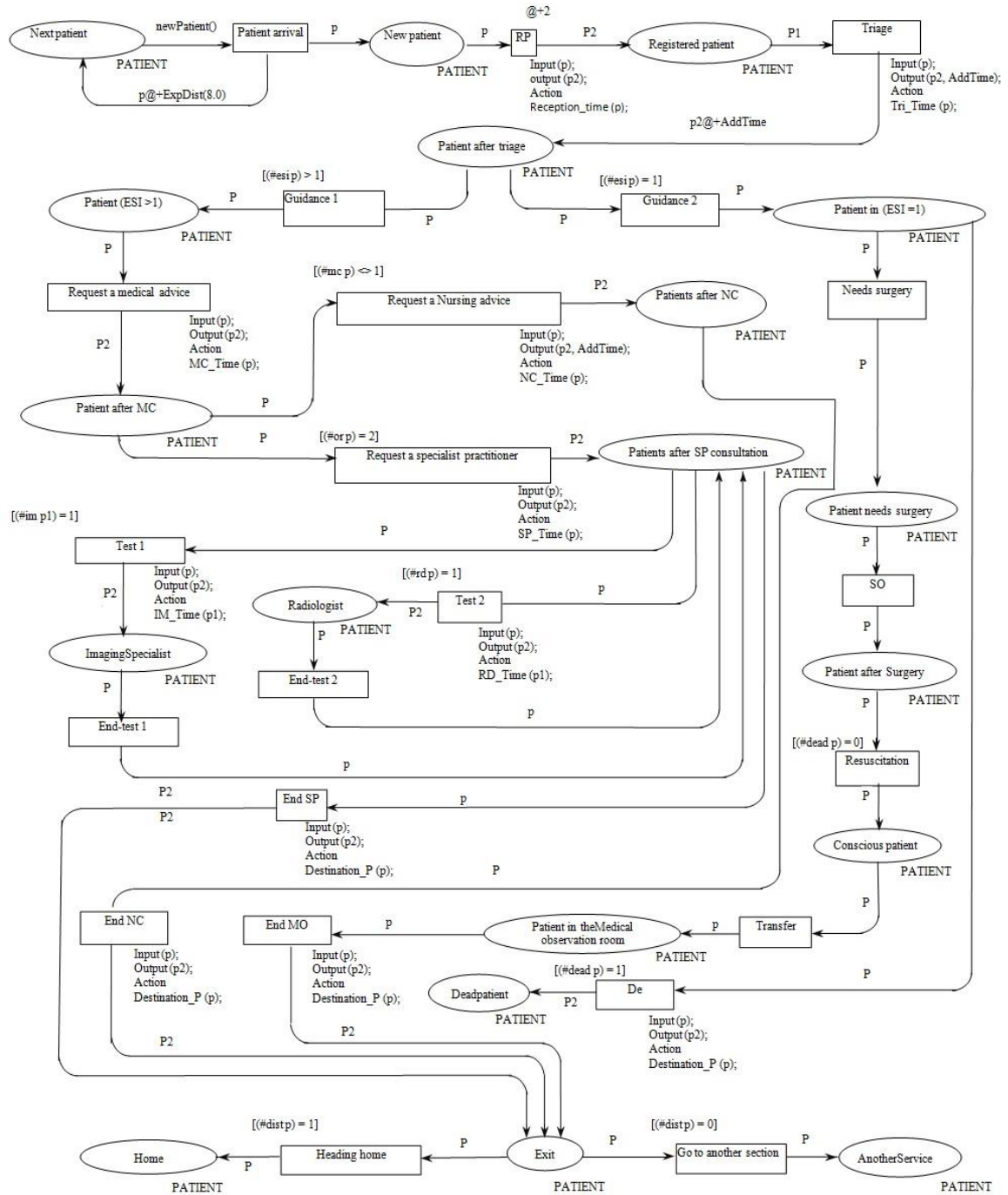


Figure IV -9 Modèle de simulation utilisant des réseaux de Petri colorés pour SE.

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

Tableau IV-4 Description des places de modèle de simulation.

Place	Description
New patient	Patient arrivant aux urgences
Registered patient	Un patient inscrit à la réception
patient after triage	Le patient après le processus de triage et sa classification selon la condition
Patient (ESI >1)	Un patient dans un état non critique
Patient in (ESI =1)	Un patient est dans un état critique
Patient after MC	Patient après consultation médicale
Patients after NC	Patient après consultation infirmière
Radiologist	Patient chez le radiologue
Imaging Specialist	Patient chez le spécialiste en imagerie
Patient needs surgery	Patient en salle d'opération
Patient after Surgery	Patient dans la première salle de réveil
conscious patient	Un patient dans la deuxième salle de réveil
Patient in the Medical observation room	Patient dans la salle d'observation médicale
Dead patient	Un patient est décédé après une opération chirurgicale ratée
Exit	Un patient a terminé sa visite aux urgences
Home	Le patient rentre chez lui
Another Service	Le patient va dans une autre section

Tableau IV-5 Description des places de modèle de simulation.

Transition	Description
Patient arrival	Admission du patient aux urgences
RP	Inscription du patient aux urgences
Triage	processus de tri
Guidance 1, Guidance 1	Diriger le patient vers les différentes sections du service des urgences
Request a Nursing advice	Demander un conseil infirmier
Request a specialist practitioner	Le début d'une consultation médicale spécialisée
needs surgery	Début de la consultation infirmière
Test 1, Test 1	Début des examens complémentaires
End-test 1, End-test 2	Fin des examens complémentaires

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

Tableau IV-5 Description des places de modèle de simulation(suivre).

Transition	Description
SO	Processus chirurgical
Resuscitation	processus de réanimation
Transfer	Transférer le patient vers la salle d'observation médicale
End NC , End SP , End MO	la fin de la consultation consultations médicales et infirmières
De	La mort du patient

On constate, malgré des résultats différents, que la durée des opérations change légèrement, tandis qu'une nette différence apparaît dans les délais d'attente aux différentes étapes aux urgences.

À partir du tableau IV-6, nous constatons que LOS a diminué de 18,24 % pour la première simulation par rapport au modèle de base, tandis que le DTDT a augmenté d'un faible pourcentage, en raison de l'absence d'ajustement des ressources lors de la phase de consultation infirmière. Pour le deuxième modèle, la LOS a diminué de 22,22 % par rapport au modèle de base et le DTDT de 26,75 %. Pour le troisième modèle, la LOS a diminué de 18,7 % et le DTDT de 23,94 % par rapport au modèle standard.

On constate, malgré des résultats différents, que la durée des opérations change légèrement, tandis qu'une nette différence apparaît dans les délais d'attente aux différentes étapes aux urgences.

Tableau IV-6 Résultats de simulation pour les modèles proposés

	Modèle de référence	Première exécution	Deuxième exécution	Troisième exécution
Délai d'attente pour une consultation infirmière	76.5	79.5	52.2	55.8
Temps d'attente pour une consultation médicale	62.8	69.3	42.4	42.5
Temps d'attente pour une consultation spécialisée	79.5	30.5	85.3	85.5
Temps d'attente pour des tests supplémentaires	59	36.7	27.4	37
consultation infirmière	16,3	17.0	15,6	15,1
Consultation médicale	14.0	13.5	13.6	13,9
Consultation spécialisée	17.9	16.2	17.1	14.8
Tests supplémentaires	12.5	14.0	13.4	14.5
LOS	344.3	281.5	267.8	279.9
DTDT	78.5	82.4	57.5	59.7

CHAPITRE IV - L'UTILISATION D'ALGORITHMES D'OPTIMISATION POUR AMELIORER LES SERVICES D'URGENCE

Tableau IV-7 Première exécution de l'algorithme GA.

Infirmier	Médecin Généraliste	Médecin Spécialiste	Examens complémentaires	Min Los
1.5e+00	1.1e+00	2.7e+00	2.2e+00	1.5e+02
1.5e+00	1.2e+00	2.8e+00	2.1e+00	1.53+02
1.5e+00	1.3e+00	2.6e+00	2.2e+00	1.77+02
1.5e+00	1.4e+00	2.9e+00	2.3e+00	1.52e+02
1.5e+00	1.2e+00	2.6e+00	2.4e+00	1.51e+02
1.5e+00	1.1e+00	2.8e+00	2.3e+00	1.53e+02

Tableau IV-8 Deuxième exécution de l'algorithme GA.

Infirmier	Médecin Généraliste	Médecin Spécialiste	Examens complémentaires	Min Los
1.6e+00	1.3e+00	1.0e+00	1.8e+00	1.9e+02
2.5e+00	2.3e+00	3.6e+00	1.6e+00	1.3e+02
2.1e+00	1.8e+00	1.0e+00	2.9e+00	1.8e+02
2.1e+00	1.8e+00	1.00e+00	3.0e+00	1.5e+02
2.1e+00	1.8e+00	1.00e+00	3.0e+00	1.8e+02
2.1e+00	1.8e+00	1.1e+00	3.0e+00	1.5e+02

Tableau IV-9 Troisième exécution de l'algorithme GA.

Infirmier	Médecin Généraliste	Médecin Spécialiste	Examens complémentaires	Min Los
1.8e+00	2.1e+00	1.5e+00	1.6e+00	1.5e+02
1.8e+00	2.1e+00	1.5e+00	1.6e+00	1.3e+02
1.2e+00	1.5e+00	1.4e+00	1.5e+00	1.9e+02
1.6e+00	2.1e+00	1.4e+00	1.7e+00	1.6e+02
1.6e+00	2.1e+00	1.3e+00	1.6e+00	1.9e+02
1.8e+00	2.1e+00	1.5e+00	1.6e+00	1.4e+02

IV.4. CONCLUSION:

Dans ce chapitre, nous avons proposé deux approches différentes pour un même SU. L'objectif est de trouver un nombre approprié de ressources humaines dans le SU. Dans les deux approches, le SU est modélisé à l'aide d'un réseau de Petri coloré. Dans la première approche, un réseau de Petri coloré hiérarchique a été utilisé. Le modèle de simulation a été modifié en conséquence. Exigences dues au début de la fin de la pandémie de Corona, qui nécessite une restructuration du service des urgences. La RH est déterminé grâce à l'algorithme PSO. Un modèle mathématique est proposé afin de calculer le temps moyen passé par un patient à n'importe quelle étape au service des urgences. Sur la base des résultats obtenus grâce à l'algorithme PSO, trois modèles de simulation différents ont été construits. , chaque modèle selon ses propres ressources. Des simulations ont été réalisées pour les trois modèles et les résultats obtenus ont été comparés au modèle standard. Cette approche a donné de bons résultats, cette dernière réduisant à la fois la LOS et la DTDT. Pour la deuxième approche, un réseau de Petri coloré régulier a été utilisé, et non hiérarchique, en simplifiant le modèle de simulation, en intégrant le calcul de certaines étapes aux urgences. Cette fois, un algorithme génétique a été utilisé. Les algorithmes génétiques sont exécutés plusieurs fois, et à chaque fois que de nouvelles solutions sont obtenues, Sur la base de ces solutions, trois modèles de simulation ont été créés, exécutés et les résultats ont été comparés au modèle standard. Dans chaque cas, Los et DTDT ont été réduits d'un certain pourcentage.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion

Avec les nouveaux défis auxquels sont confrontés les hôpitaux en général et les services d'urgence en particulier, des efforts concertés sont requis de la part du personnel médical afin d'offrir de bons services aux urgences. D'autre part, il faut s'appuyer sur de nouvelles méthodes et méthodes pour résoudre les problèmes liés à l'organisation du processus de prise en charge des patients aux urgences, en plus d'une bonne gestion des ressources humaines et matérielles.

L'état de surpopulation au sein des urgences peut être décrit par des indicateurs liés à des facteurs internes tels que le flux aléatoire de patients, le manque de ressources matérielles et humaines, le manque de lits, les délais d'attente des patients, etc.

Notre domaine d'étude est le service des urgences, où le parcours du patient est complexe et long. L'une des causes de retard les plus fréquentes est le temps d'attente, qui représente une proportion importante du temps total passé par un patient aux urgences. Les causes immédiates des délais d'attente sont la surpopulation, qui perturbe le cycle normal des flux au sein des urgences.

La thèse a été organisée en six chapitres. Nous avons commencé dans le premier chapitre par une introduction générale dans laquelle le contexte de la recherche et ses problématiques sont abordés du contexte général au contexte spécifique.

Dans le deuxième chapitre, les systèmes sociotechniques ont été expliqués, puis nous avons abordé le système de santé comme échantillon de ces systèmes.

Le système de santé algérien a été présenté, y compris les hôpitaux, notamment le service des urgences. Les problèmes dont souffre cette importante structure hospitalière ont été identifiés, afin de pouvoir les aborder dans cette thèse. Le service des urgences de l'hôpital de Sidi Bel Abbès a été choisi comme échantillon. pour mener cette étude.

Pour résoudre tout problème, il faut jeter un œil aux différentes méthodes qui ont été utilisées dans ce domaine. C'est ce que nous avons fait dans le troisième chapitre, où ont été présentés certains des travaux réalisés dans le secteur de la santé, notamment les méthodes de modélisation et appliquer divers algorithmes d'optimisation.

Dans le chapitre 4, nous avons proposé une approche basée sur un réseau de Petri hiérarchique et coloré. Après une étude détaillée des différentes opérations réalisées au niveau des urgences, un modèle de simulation a été créé et plusieurs scénarios d'amélioration ont été proposés.

Cette approche ayant donné de bons résultats, cette recherche offre de nombreuses solutions aux décideurs du service des urgences.

Dans le chapitre cinq, deux approches différentes ont été proposées, la première basée sur un réseau de Petri coloré hiérarchique et l'algorithme PSO, tandis que la seconde s'appuyait sur un réseau de Petri coloré régulier et des algorithmes génétiques.

Conclusion générale

Concernant la première approche, le modèle de simulation proposé dans le chapitre précédent a été simplifié, en fonction des circonstances dues au début de la fin de la pandémie de Corona.

Pour déterminer le nombre de ressources humaines nécessaires, l'algorithme PSO a été utilisé. Cette approche apporte plusieurs solutions aux décideurs des urgences, afin que le personnel médical puisse avoir un bon contrôle sur les ressources humaines .

Pour la deuxième approche, le modèle de simulation est encore une fois simplifié, mais cette fois, des algorithmes génétiques sont utilisés pour déterminer le nombre de ressources humaines, ces derniers ayant donné de bons résultats qui aident les décideurs à choisir la quantité de ressources humaines nécessaire à tout moment.

En guise de synthèse de la thèse, nous avons présenté trois approches différentes, dont une largement basée sur la modélisation, tandis que le processus d'amélioration nécessite l'intervention humaine de la part des décideurs ou du personnel médical.

Quant aux deux approches restantes, nous sommes appuyés sur des algorithmes de modélisation et d'optimisation, afin que les algorithmes d'optimisation suggèrent des solutions sans l'intervention du facteur humain.

A travers ces approches, nous sommes appuyés sur des indicateurs clés de performance, ces derniers étant utilisés pour mesurer la qualité des services aux urgences. Parmi ces indicateurs, nous avons utilisé le LOS et le DTDT, dans chaque approche nous essayons de les réduire autant que possible, et c'est ce que nous avons effectivement obtenu dans cette recherche.

Pour la première approche, plusieurs scénarios ont été proposés, où trois scénarios de base et deux scénarios hybrids ont été proposés. Dans les scénarios de base, la valeur LOS a été réduite de 3,44 % et DTDT de 37,4 %, tandis que dans les scénarios hybrids, la valeur LOS a été réduite de 6,8% et DTDT de 66,7%.

Pour la deuxième approche, trois modèles ont été proposés sur la base des résultats obtenus grâce à l'algorithme PSO : pour le premier modèle, la LOS a diminué de 28,93 % par rapport au modèle standard et le DTDT a diminué de 19,31 %. Quant au deuxième modèle, la LOS a diminué de 26,01 % par rapport au modèle standard, et le DTDT a diminué de 20 %. Pour le troisième modèle, la LOS a diminué de 29,86 % par rapport au modèle standard et le DTDT a diminué de 36,78 %.

Pour la troisième approche, trois modèles ont également été proposés sur la base des résultats obtenus à l'aide de l'algorithme génétique : Pour le premier modèle, la LOS a diminué de 18,24 % par rapport au modèle standard et la DTDT a diminué d'un faible pourcentage. Quant au deuxième modèle, la LOS a diminué de 22,22 % par rapport au modèle standard, et le DTDT a diminué de 26,75 %. Pour le troisième modèle, la LOS a diminué de 18,7 % par rapport au modèle standard et le DTDT a diminué de 23,94 %.

Conclusion générale

L'un des problèmes les plus importants auxquels nous avons été confrontés est le manque de données précises de la part de la direction du service des urgences de l'hôpital de Sidi Bel Abbès. Il est très important de disposer d'une base d'informations précises dans le système de santé, afin que nous puissions mener d'autres recherches dans les travaux futurs, cette base d'informations facilite les processus d'amélioration, elle nous permet de calculer des indicateurs de performance clés avec une grande précision.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- Abderrahmane, B., Oualid, K. & Chafik, Samir. (2019). A hybrid genetic algorithm to size the hospital resources in the case of a massive influx of victims. 1-6. 10.1109/LOGISTIQUA.2019.8907324
- Adger, W. (2000). Social and Ecological Resilience: Are They Related?. *Progress in Human Geography*. 24. 347-364. 10.1191/030913200701540465
- Ahsan, K. B., Alam, M. R., Morel, D. G., & Karim, M. A. (2019). Emergency department resource optimisation for improved performance: a review. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(S1), 253–266. <https://doi.org/10.1007/s40092-019-00335-x>
- Ajmi, I. (2015). Outils et modèles collaboratifs pour la gestion des tensions dans les services des urgences pédiatriques
- Al-Momani M. M. (2016). Gap Analysis between Perceptions and Expectations of Medical-Surgical Patients in a Public Hospital in Saudi Arabia. *Medical principles and practice : international journal of the Kuwait University, Health Science Centre*, 25(1), 79–84. <https://doi.org/10.1159/000441000>
- Albadr, M., Tiun, S., Ayob, M. & Al-Dhief, Fahad. (2020). Genetic Algorithm Based on Natural Selection Theory for Optimization Problems. *Symmetry*. 12. 1-31. 10.3390/sym12111758
- " Algeria Health Insurance - Pacific Prime International". <http://www.pacificprime.com> . Consulté le 05/17/2016
- " Algeria Health Insurance". www.globalsurance.com. 2016-05-17
- Allard, R. J., Werner, D. H., & Werner, P. L. (2003). Radiation pattern synthesis for arrays of conformal antennas mounted on arbitrarily-shaped three-dimensional platforms using genetic algorithms. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 51(5), 1054–1062. <https://doi.org/10.1109/tap.2003.811510>
- Alves de Queiroz, T., Iori, M., Kramer, A., & Kuo, Y.-H. (2023). Dynamic scheduling of patients in emergency departments. *European Journal of Operational Research*, 310(1), 100–116. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.03.004>
- An, Y., Wu, N., Zhao, X., Li, X., & Chen, P. (2018). Hierarchical Colored Petri Nets for Modeling and Analysis of Transit Signal Priority Control Systems. *Applied Sciences*, 8(1), 141. <https://doi.org/10.3390/app8010141>
- Andersen, A. R., Nielsen, B. F., & Reinhardt, L. B. (2017). Optimization of hospital ward resources with patient relocation using Markov chain modeling. *European Journal of Operational Research*, 260(3), 1152–1163. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.026>
- Apornak, A., Raissi, S., Keramati, A., & Khalili-Damghani, K. (2020). Human resources optimization in hospital emergency using the genetic algorithm approach. *International Journal of Healthcare Management*, 14(4), 1441–1448. <https://doi.org/10.1080/20479700.2020.1763236>
- Appel, A. W. & MacQueen., D. B. Standard ML of New Jersey. In *Proceedings of 3rd International Symposium on Programming Language Implementation and Logic Programming*. Springer, 1991
- Asmussen, S. "Further Topics in Renewal Theory and Regenerative Processes". *Applied Probability and Queues. Stochastic Modelling and Applied Probability* 51, 2003, pp. 186219

Bibliographie

- Baldoni, R., Bernardeschi, C., Bloomfield, R., Bondavalli, A., Cachin, C., Correia, M., Dacier, M., Felicita, D., Giandomenico, J., Fabre, M., Harrison, M., Kaâniche, K., Kanoun, C., Lac, G., Lami, J., Laprie, I., Majzik, P., Masci, P., Palanque, A., & Voges, U. (2009). Resilient Computing Courseware
- Baxter, G., & Sommerville, I. (2011). Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. *Interacting with Computers*, 23(1), 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2010.07.003>
- Böhm, K., Schmid, A., Götze, R., Landwehr, C., & Rothgang, H. (2013). Five types of OECD healthcare systems: empirical results of a deductive classification. *Health policy (Amsterdam, Netherlands)*, 113(3), 258–269. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2013.09.003>
- Bonyadi, M. R., & Michalewicz, Z. (2017). Particle Swarm Optimization for Single Objective Continuous Space Problems: A Review. *Evolutionary computation*, 25(1), 1–54. https://doi.org/10.1162/EVCO_r_00180
- Burkhart, M. C., & Ruiz, G. (2023). Neuroevolutionary representations for learning heterogeneous treatment effects. *Journal of Computational Science*, 71, 102054. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2023.102054>
- Callou, G., Maciel, P., Tutsch, D., Arajo, J., Ferreira, J., & Souz, R. (2012). A Petri Net-Based Approach to the Quantification of Data Center Dependability. *Petri Nets - Manufacturing and Computer Science*. <https://doi.org/10.5772/47829> -----105
- Camillo, C. A. (2016). The US Healthcare System: Complex and Unequal. *Global Social Welfare*, 3(3), 151–160. <https://doi.org/10.1007/s40609-016-0075-z>
- Camillo, C. (2017). Comparative Healthcare Systems. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31816-5_3128-1
- Cartes, I., & Medina, R. (2016). A GRASP algorithm for the elective surgeries scheduling problem in a Chilean public hospital. *IEEE Latin America Transactions*, 14(5), 2333–2338. <https://doi.org/10.1109/tla.2016.7530430>
- Centre for Change and Innovation, “Decide to admit v admit to decide- working together to improve unscheduled care in NHS scotland,” National Conference Unplanned Care for Medical Conditions, Feb. 2004
- Chaney, E. (2000), "Philanthropy in Italy': English Observations on Italian Hospitals 1545–1789", in: *The Evolution of the Grand Tour: Anglo-Italian Cultural Relations since the Renaissance*, 2nd ed. London, Routledge, 2000.
- Chromik, J., & Arnrich, B. (2021). Optimal Deployment in Emergency Medicine with Genetic Algorithm Exemplified by Lifeguard Assignments. 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). <https://doi.org/10.1109/embc46164.2021.9629796>
- Clerc, M. & Kennedy, J. (2002). Kennedy, J.: The Particle Swarm: Explosion, Stability and Convergence in a Multi-Dimensional Complex Space. *IEEE Trans. on Evolutionary Computation* 6, 58-73. *Evolutionary Computation*, IEEE Transactions on. 6. 58 - 73. [10.1109/4235.985692](https://doi.org/10.1109/4235.985692)
- Colorni, A., Dorigo, M. & Maniezzo, V. (1991). Distributed Optimization by Ant Colonies. *Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*
- Connor, J. T. H.(1990) "Hospital History in Canada and the United States," *Canadian Bulletin*

Bibliographie

of Medical History, Vol. 7 Issue 1, pp 93–104

- Creemers, S., Belien, J., & Lambrecht, M. (2011). The Optimal Allocation of Server Time Slots Over Different Classes of Patients. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1968335>
- Culda, L., Muncuț, E. S., & Mihai Erdodi, G. (2019). The analysis of the robotized handling of oxygen gas bottles with the help of the Petri networks. *MATEC Web of Conferences*, 290, 08006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929008006>
- Daknou, A. (2011). Architecture distribuée à base d'agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d'urgence en milieu hospitalier
- De Hond, A., Raven, W., Schinkelshoek, L., Gaakeer, M., Ter Avest, E., Sir, O., Lameijer, H., Hessels, R. A., Reijnen, R., De Jonge, E., Steyerberg, E., Nickel, C. H., & De Groot, B. (2021). Machine learning for developing a prediction model of hospital admission of emergency department patients: Hype or hope? *International Journal of Medical Informatics*, 152, 104496. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2021.104496>
- Dekker, S.W.A. (2006) Resilience Engineering: Chronicling the Emergence of Confused Consensus. In: Hollnagel, E., Woods, D.D. and Leveson, N., Eds., *Resilience Engineering Concepts and Precepts*, Ashgate Publishing Ltd., Aldershot, 77-92.
- Eby, L., Sinoway, B., & Parisi, A. (2000). Socio-Technical Systems Approach to Work Team Design. *Work Teams: Past, Present and Future*, 115–129. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9492-9_7
- El Bazzazi, A., El Akraoui, B., & Larach, A. (2022). Hospital Room Management for Covid-19 Patients Using Petri Nets. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 254–262. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06458-6_21
- Emerson, E. & Sistla, A.. (1996). Symmetry and Model Checking. *Formal Methods in System Design*. 9. 105-131. [10.1007/BF00625970](https://doi.org/10.1007/BF00625970)
- Fischer, G. & Herrmann, T. (2013). *Socio-Technical Systems – A Meta-Design Perspective*
- Fruggiero, F. , Lambiase, A. & Fallon, Daithí. (2008). Computer simulation and swarm intelligence organisation into an emergency department: a balancing approach across Ant Colony Optimisation. *Int. J. Services Operations and Informatics J. Services Operations and Informatics*. 3. 142-161. [10.1504/IJSOI.2008.019330](https://doi.org/10.1504/IJSOI.2008.019330).
- Gad, A.G. (2022) Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Applications: A Systematic Review. *Arch Computat Methods Eng*, 29, 2531–2561. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09694-4>
- Gagniuc, P. (2017). *Markov Chains: From Theory to Implementation and Experimentation*. [10.1002/9781119387596](https://doi.org/10.1002/9781119387596)
- Gamerman, D. & Lopes, H. (2006). *Markov Chain Monte Carlo: Stochastic Simulation for Bayesian Inference*, Second Edition. [10.1201/9781482296426](https://doi.org/10.1201/9781482296426)
- Ghanes, K., Wargon, M., Jouini, O., Jemai, Z., Diakogiannis, A., Hellmann, R., Thomas, V., & Koole, G. (2015). Simulation-based optimization of staffing levels in an emergency department. *SIMULATION*, 91(10), 942–953. <https://doi.org/10.1177/0037549715606808>
- Gholami, M., Kavosi, Z., & khojastefar, M. (2016). Services quality in emergency department of Nemazee Hospital: Using SERVQUAL model. *Health Management & Information Science*, 3(4), 120-126.

Bibliographie

- Government of the United Kingdom (November 30, 2015) NHS Choices: what we do. Retrieved from <http://www.nhs.uk/aboutNHSChoices/aboutnhschoices/Pages/what-we-do.aspx>
- Guinand, F., Siarry, P. & Monmarché, N. (2010). Artificial Ants: from collective intelligence to real-life optimization and beyond - toc and introduction
- Hammer, C., DePrez, B., White, J., Lewis, L., Straughen, S., & Buchheit, R. (2022). Enhancing Hospital-Wide Patient Flow to Reduce Emergency Department Crowding and Boarding. *Journal of Emergency Nursing*, 48(5), 603–609. <https://doi.org/10.1016/j.jen.2022.06.002>
- Harrou, F., Dairi, A., Kadri, F., & Sun, Y. (2022). Effective forecasting of key features in hospital emergency department: Hybrid deep learning-driven methods. *Machine Learning with Applications*, 7, 100200. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2021.100200>
- Hassan, K. M., Abdo, A., & Yakoub, A. (2022). Enhancement of Health Care Services Based on Cloud Computing in IOT Environment Using Hybrid Swarm Intelligence. *IEEE Access*, 10, 105877–105886. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3211512>
- Hettinger, L. J., Kirlik, A., Goh, Y. M., & Buckle, P. (2015). Modelling and simulation of complex sociotechnical systems: envisioning and analysing work environments. *Ergonomics*, 58(4), 600–614. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1008586>
- Hirose, T., & Sawaragi, T. (2020). Extended FRAM model based on cellular automaton to clarify complexity of socio-technical systems and improve their safety. *Safety Science*, 123, 104556. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104556>
- Hollnagel, E., Woods, D., & Leveson, N. (2006). Resilience Engineering : Concepts and Precepts. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*.
- Hsieh, A., Arena, A., Oraha, A., Cotarelo, A., McLean, M., Hsieh, A., Hsieh, A., Chen, I., Mok, N., & Milizia, R. (2023). Implementation of Vertical Split Flow Model for Patient Throughput at a Community Hospital Emergency Department. *The Journal of Emergency Medicine*, 64(1), 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2022.10.007>
- Ibrahim, M. R., Suseno, J. E., & Surarso, B. (2021). Emergency Service Search using Ant Colony Optimization Algorithm and AHP-TOPSIS Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1943(1), 012104. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1943/1/012104>
- International Health Conference (1946) Constitution of the World Health Organization. Retrieved from: <http://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd47/EN/constitution-en.pdf?ua=1>
- Investment in expanding clinics and hospitals improving Algeria's health indicators. Oxford Business Group. Retrieved 2016-05-17
- Pierre, J., (1998) . *Ingénierie et intégrations des systèmes*, Hermès.
- Jeffrey D. U. (1998). *Elements of ML Programming (ML97 ed.)*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA
- Jensen, K., (1997). A brief introduction to coloured Petri Nets. doi:10.1007/BFb0035389. ISBN 978-3-540-62790-6
- Jensen, K., Kristensen, L.M. & Wells, L. Coloured Petri Nets and RDPC Tools for modelling and validation of concurrent systems. *Int J Softw Tools Technol Transfer* 9, 213–254 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10009-007-0038-x>
- Joseph, J. W. (2020). *Queuing Theory and Modeling Emergency Department Resource*

Bibliographie

- Utilization. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 38(3), 563–572. <https://doi.org/10.1016/j.emc.2020.04.006>
- Kadri, F. (2014). Contribution à la conception d'un système d'aide à la décision pour la gestion de situations de tension au sein des systèmes hospitaliers. Application à un service d'urgence
- Khalid, M., Afzaal, H., Hassan, S., Zafar, N. A., Latif, S., & Rehman, A. (2019). Automated UML-based Formal Model of E-Health System. 2019 13th International Conference on Mathematics, Actuarial Science, Computer Science and Statistics (MACS). <https://doi.org/10.1109/mac48846.2019.9024830>
- Khalidi, R., Afia, A. E., & Chiheb, R. (2019). Forecasting of weekly patient visits to emergency department: real case study. *Procedia Computer Science*, 148, 532–541. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.026>
- Kang, C. W., Imran, M., Omair, M., Ahmed, W., Ullah, M., & Sarkar, B. (2019). Stochastic-Petri Net Modeling and Optimization for Outdoor Patients in Building Sustainable Healthcare System Considering Staff Absenteeism. *Mathematics*, 7(6), 499. <https://doi.org/10.3390/math7060499>
- Kandu, R., Jain, P. J., & Ghosal, I. (2023). Service Quality of Public Hospitals in Nepal: A Systematic Review and Meta-analysis. *Indian Journal Of Science And Technology*, 16(28), 2102–2112. <https://doi.org/10.17485/ijst/v16i28.1480>
- Kennedy, J., & Eberhart, R. Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*. doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.
- Kennedy, J. (n.d.). The particle swarm: social adaptation of knowledge. *Proceedings of 1997 IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC '97)*. <https://doi.org/10.1109/icec.1997.592326>
- Khatri, A. (n.d.). Validation of a patient headache care education system (PHCES) developed from a unified modeling language (UML) domain model. *Proceedings. Twenty-Third Annual International Computer Software and Applications Conference (Cat. No.99CB37032)*. <https://doi.org/10.1109/cmpsac.1999.812719>
- Khushk, A. R., & Li, X. (2018). Petri net methodology for solving healthcare management issues. *ITM Web of Conferences*, 17, 03030. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20181703030>
- Kraisig, A. R., Welter, F. C., Haugg, I. G., Cargnin, R., Roos-Frantz, F., Sawicki, S., & Frantz, R. Z. (2016). Mathematical Model for Simulating an Application Integration Solution in the Academic Context of Unijuí University. *Procedia Computer Science*, 100, 407–413. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.176>
- ksendal, B. (2000). *Stochastic Differential Equations: An Introduction with Applications*. 10.1007/978-3-662-03185-8
- Kuehn, M., Salzwedel, H & Baumann, T. (2012). Genetic Algorithm For Process Optimization In Hospitals. 10.7148/2012-0103-0107
- Kumar, K., & Sonal Dahiya, S. (2020) Energy Management and Modelling in Wireless Sensor Networks- A Review. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET-IF-7.512)*. vol 9, issue 6, pp4716-4719.
- Kuo, Y. H. (2014). Integrating simulation with simulated annealing for scheduling physicians in an understaffed emergency department. *HKIE Transactions*, 21(4), 253–261.

Bibliographie

<https://doi.org/10.1080/1023697x.2014.970748>

- Kuo, Y.-H., Leung, J. M. Y., Tsoi, K. K. F., Meng, H. M., & Graham, C. A. (2015). Embracing Big Data for Simulation Modelling of Emergency Department Processes and Activities. 2015 IEEE International Congress on Big Data. <https://doi.org/10.1109/bigdatacongress.2015.52>
- Lawrence, W., Dowdy, V.A.F., Almeida, D.A. & Menasce. "Performance byDesign: Computer Capacity Planning by Example". Archived from the original on 2016-05-06. Retrieved 2009-07-08
- Lee, H. K., Musa, A. J., Bain, P. A., Nelson, K., Baker, C., & Li, J. (2019). A Queueing Network Model for Analysis of Patient Transitions Within Hospitals. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 16(1), 6–20. <https://doi.org/10.1109/tase.2018.2793251>
- Lee, K.D. (2008). *Functional Programming in Standard ML*. In: *Programming Languages*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-79421-1_5
- Leksakul, K. & Phetsawat, S. (2014). Nurse Scheduling Using Genetic Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*. 2014. 1-16. [10.1155/2014/246543](https://doi.org/10.1155/2014/246543)
- Lin, S. , Lee, Y., Chen, L. , Chang, H. , & Lin, C. (2014) .Applying Simulated Annealing to the Nurse Rostering Problem in an Emergency Department. *ISPE CE, Advances in Transdisciplinary Engineering*. IOS Press
- Liu, G. (2022). Elementary Net Systems. *Petri Nets*, 1–33. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6309-4_1
- Liu, W., Wang, Z., Liu, X., Zeng, N., & Bell, D. (2019). A Novel Particle Swarm Optimization Approach for Patient Clustering From Emergency Departments. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 23(4), 632–644. <https://doi.org/10.1109/tevc.2018.2878536>
- Liu, Z., & Yang, G. (2022). Large-scale traffic flow simulation based on intelligent PSO. *MATEC Web of Conferences*, 355, 02010. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202235502010>
- Lomazova, I., Popova-Zeugmann, L., & Bartels, A. (2017). Controlling boundedness for live Petri nets. 2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). <https://doi.org/10.1109/codit.2017.8102597>
- Louati, A., & Barkaoui, K. (2016). Formal Verification of UML2 Timing Diagrams based on Time Petri Nets. *International Journal of Information Systems in the Service Sector*, 8(2), 87–97. <https://doi.org/10.4018/ijjiss.2016040107>
- Louhab, Z., & Boufera, F. (2022). Modelling and Simulation of Patient Flow in the Emergency Department During the COVID-19 Pandemic Using Hierarchical Coloured Petri Net. *International Journal of Open Source Software and Processes*, 13(1), 1–15. <https://doi.org/10.4018/ijjosp.308790>
- Louhab, Z., & Boufera, F. (2023). A Novel Approach based on PSO and Coloured Petri Net for improving Services in the Emergency Department. 2nd international conference on smart systems and innovation technology (2023)
- Louhab, Z., & Boufera, F. (2023). A colored petri nets-based approach and genetic algorithms for improving services in the emergency department. *Computer Science Journal of Moldova* (2023 in print)

Bibliographie

- M. Dorigo, "Optimization, Learning, and Natural Algorithms," Ph.D. Thesis, Politecnico di Milano, Milano, 1992.
- Martin, M., Champion, R., Kinsman, L., & Masman, K. (2011). Mapping patient flow in a regional Australian emergency department: A model driven approach. *International Emergency Nursing*, 19(2), 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.ienj.2010.03.003>
- Martínez-García, M., Hernández-Lemus, E. & Martinez-Garcia, M. (2013). Health Systems as Complex Systems. *American Journal of Operations Research*. 03. 113-126. 10.4236/ajor.2013.31A011
- Matsumura, K., Mizutani, H., & Arai, M. (1987). An Application of Structural Modeling to Software Requirements Analysis and Design. *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-13(4), 461–471. <https://doi.org/10.1109/tse.1987.233182>
- Meissner, Michael & Schmuker, Michael & Schneider, Gisbert. (2006). Optimized Particle Swarm Optimization (OPSO) and its application to artificial neural network training. *BMC bioinformatics*. 7. 125. 10.1186/1471-2105-7-125
- Milner, R., Tofte, M., Harper, R. & MacQueen., D. *The Definition of Standard ML (Revised)*. MIT Press, 1997
- Mitchell, Melanie (1996). *An Introduction to Genetic Algorithms*. Cambridge, MA: MIT Press. ISBN 9780585030944
- Murata, T.(1989).Petri nets: Properties, analysis and applications. in *Proceedings of the IEEE*.doi: 10.1109/5.24143
- Mutlag, A. H., Mahdi, S. Q., Gharghan, S. K., Salim, O. N. M., Al-Naji, A., & Chahl, J. (2022). Improved Control System Based on PSO and ANN for Social Distancing for Patients With COVID-19. *IEEE Access*, 10, 63797–63811. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3183124>
- Naybour, M., Remenyte-Prescott, R., & Boyd, M. J. (2019). Reliability and efficiency evaluation of a community pharmacy dispensing process using a coloured Petri-net approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 182, 258–268. <https://doi.org/10.1016/j.res.2018.09.022>
- Njau, B., Mosha, N., & Jeremia, D. (2022). Quality of health care services and performance in public hospitals in Africa: A protocol for systematic review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1608237/v1>
- Nobile, M. S., Pasi, G., Cazzaniga, P., Besozzi, D., Colombo, R., & Mauri, G. (2015). Proactive Particles in Swarm Optimization: A self-tuning algorithm based on Fuzzy Logic. 2015 *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*. <https://doi.org/10.1109/fuzz-ieee.2015.7337957>
- OMG Unified Modeling Language (OMG UML), Superstructure. Version 2.4.1". Object Management Group. Retrieved August 2011
- Pak, A., Gannon, B., & Staib, A. (2021). Predicting waiting time to treatment for emergency department patients. *International Journal of Medical Informatics*, 145, 104303. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2020.104303>
- Pan, J. (2023). Factors Influencing Consumer Satisfaction in Platform-Based Companies: A SERVQUAL Model Study in the Internet+ Era. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 35(1), 37–44. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/35/20231720>
- Parsons, S. (2005). *Ant Colony Optimization* by Marco Dorigo and Thomas Stützle, MIT

Bibliographie

- Press, 305 pp., \$40.00, ISBN 0-262-04219-3. The Knowledge Engineering Review, 20(1), 92–93. <https://doi.org/10.1017/s0269888905220386>
- Paulson, L. (1996). *ML for the Working Programmer*. Cambridge University Press, second edition
- Petinrin, O. O., Li, X., & Wong, K.-C. (2022). Particle Swarm Optimized Gaussian Process Classifier for Treatment Discontinuation Prediction in Multicohort Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer Patients. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 26(3), 1309–1317. <https://doi.org/10.1109/jbhi.2021.3103989>
- Podgorelec, Vili & Kokol, Peter. (1998). Genetic Algorithm Based System for Patient Scheduling in Highly Constrained Situations. *Journal of medical systems*. 21. 417-27. 10.1023/A:1022828414460
- "Poverty & Healthcare". *SOS Children's Villages*. Spotted the original on 2022-10-27
- Qureshi, Z. H., A. Ashraf, M., & Amer, Y. (2007). Modeling industrial safety: A sociotechnical systems perspective. 2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. <https://doi.org/10.1109/ieem.2007.4419519>
- Rahil-Golipour, Gaderkhani, G., Roshani, D., & Shahoei, R. (2019). Evaluation of the Quality of the Pregnancy Care from the Perspective of Service Recipients using the SERVQUAL Model. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*. <https://doi.org/10.7860/jcdr/2019/39505.12678>
- Rahim, M., Boukala-Ioualalen, M., & Hammad, A. (2021). Hierarchical Colored Petri Nets for the Verification of SysML Designs- Activity-Based Slicing Approach. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 131–142. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69418-0_12
- Ramli, M. R., Hussin, B., Abas, Z. A., & Ibrahim, N. K. (2016). Solving Complex Nurse Scheduling Problems Using Particle Swarm Optimization. *International Review on Computers and Software (IRECOS)*, 11(9), 834. <https://doi.org/10.15866/irecos.v11i9.9881>
- Ricci, F. L., Consorti, F., Pecoraro, F., Luzi, D., & Tamburis, O. (2022). A Petri-Net-Based Approach for Enhancing Clinical Reasoning in Medical Education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 15(2), 167–178. <https://doi.org/10.1109/tlt.2022.3157391>
- Rigaud, E., (2008), *Le Management de la Sécurité ; Du management des Risques au management de la Résilience*, Forum Académique de l'AFIS 2008, Nîmes, décembre 2008
- Rizwan Ali, M., Ahmad, F., Hasanain Chaudary, M., Ashfaq Khan, Z., Alqahtani, M. A., Saad Alqurni, J., Ullah, Z., & Khan, W. U. (2021). Petri Net based modeling and analysis for improved resource utilization in cloud computing. *PeerJ Computer Science*, 7, e351. Portico. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.351>
- Sahin, Ö. (2020). A Gentle Introduction to ML and NLP. *Develop Intelligent IOS Apps with Swift*, 1–15. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6421-8_1
- Salman, O. H., Aal-Nouman, M. I., & Taha, Z. K. (2020). Reducing waiting time for remote patients in telemedicine with considering treated patients in emergency department based on body sensors technologies and hybrid computational algorithms: Toward scalable and efficient real time healthcare monitoring system. *Journal of Biomedical Informatics*, 112, 103592. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103592>
- Sanchez, M., Smally, A. J., Grant, R. J., & Jacobs, L. M. (2006). Effects of a fast-track area

Bibliographie

- on emergency department performance. *The Journal of Emergency Medicine*, 31(1), 117–120. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2005.08.019>
- Schlechter, Kira (March 2, 2009). “Hershey Medical Center to open redesigned emergency room”. *The Patriot-News*
- Sethuramalingam, T. K., & Nagaraj, B. (2016). A Proposed System of Ship Trajectory Control Using Particle Swarm Optimization. *Procedia Computer Science*, 87, 294–299. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.164>
- Shi, Y. & Eberhart, R.C. (1998). A Modified Particle Swarm Optimizer. *Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation, ICEC*. 6. 69 - 73. [10.1109/ICEC.1998.699146](https://doi.org/10.1109/ICEC.1998.699146)
- Shojaei, E., Wong, A., Rexachs, D., Epelde, F., & Luque, E. (2020). Investigating Impacts of Telemedicine on Emergency Department Through Decreasing Non-Urgent Patients in Spain. *IEEE Access*, 8, 164238–164245. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3019667>
- Simonette, M., Magalhaes, M., & Spina, E. (2018). Resilience in Sociotechnical Systems. 2018 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE). <https://doi.org/10.1109/syseng.2018.8544448>
- Simonette, M., Magalhaes, M., Bertassi, E., & Spina, E. (2019). Beyond Resilience in Sociotechnical Systems. 2019 International Symposium on Systems Engineering (ISSE). <https://doi.org/10.1109/isse46696.2019.8984570>
- Strigini, L. (2012). Fault Tolerance and Resilience: Meanings, Measures and Assessment. *Resilience Assessment and Evaluation of Computing Systems*, 3–24. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29032-9_1
- Sundarapandian, V. (2009). *Queueing Theory. Probability, Statistics and Queueing Theory*. PHI Learning. ISBN 978-8120338449
- System Resilience. (20 November 2023). SEBoK, . (2023), https://sebokwiki.org/w/index.php?title=System_Resilience&oldid=70124
- Tantri, F., & Amir, S. (2022). Optimizing Response Strategies of Healthcare System in a Large-scale Disaster. *Journal of Safety Science and Resilience*, 3(4), 288–301. <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2022.06.001>
- Thangaraj, R., Pant, M., Abraham, A. & Snasel, Vaclav. (2012). Modified Particle Swarm Optimization with time varying velocity vector. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*. 8. 201-218
- Vanbrabant, L., Braekers, K. & Ramaekers, K. Improving emergency department performance by revising the patient–physician assignment process. *Flex Serv Manuf J* 33, 783–845 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10696-020-09388-2>
- Vanderhaegen, F., 2003, *Analyse et contrôle de l’erreur humaine*, Lavoisier. Hermès Science Publications, 214 p
- Vass, H., & Szabo, Z. K. (2015). Application of Queuing Model to Patient Flow in Emergency Department. Case Study. *Procedia Economics and Finance*, 32, 479–487. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)01421-5](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)01421-5)
- Vassy, C. (2004). L’organisation des services d’urgences, entre le social et le sanitaire. *Mouvements*, 32(2), 67. <https://doi.org/10.3917/mouv.032.0067>
- Vicente, K. J. (2003). *Cognitive Work Analysis Toward Safe, Productive, and Healthy*

Bibliographie

- Computer-Based Work [Book Review]. *IEEE Transactions on Professional Communication*, 46(1), 63–65. <https://doi.org/10.1109/tpc.2002.808348>
- Von-Bertalanffy, L. (1975). *Perspectives on General System Theory: Scientific-philosophical Studies*. George Braziller
- Walker, G. H., Stanton, N. A., Salmon, P. M., & Jenkins, D. P. (2008). A review of sociotechnical systems theory: a classic concept for new command and control paradigms. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 9(6), 479–499. <https://doi.org/10.1080/14639220701635470>
- Wang, J. (2019). *Formal Methods in Computer Science* (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429184185>
- Wang, J. (2023). Patient Flow Modeling and Optimal Staffing for Emergency Departments: A Petri Net Approach. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 10(4), 2022–2032. <https://doi.org/10.1109/tcss.2022.3186249>
- Westergaard, M., & Kristensen, L. M. (2009). The Access/RDPC framework: a tool for interacting with the RDPC tools simulator. In G. Franceschinis, & K. Wolf (Eds.), *Proceedings of the 30th International Conference on Applications and Theory of Petri Nets (Petri Nets 2009)*, 22-26 June 2009, Paris, France (Lecture Notes in Computer Science; Vol. 5606). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02424-5_19
- "What is Simulated Annealing?". www.cs.cmu.edu. 2023-05-13
- Whitley, D. (1994). A genetic algorithm tutorial. *Statistics and Computing*. doi:10.1007/BF00175354. S2CID 3447126
- Whittaker, S.-J., Rudie, K., & McLellan, J. (2015). An Augmented Petri Net Model for Health-Care Protocols. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 60(9), 2362–2377. <https://doi.org/10.1109/tac.2015.2409932>
- Wicaksono, A., & Rudhito, M. A. (2019). The simulation of three crossroad traffic queueing systems using petri nets and colored petri nets program. *Journal of Physics: Conference Series*, 1307(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1307/1/012012>
- Woltjer, J., & Johansson, B., 2007. Pragmatic resilience, in: *In Proceedings of the Resilience Engineering Workshop*. Presented at the *In Proceedings of the Resilience Engineering Workshop*
- Woo, D. M., & Vicente, K. J. (2003). Sociotechnical systems, risk management, and public health: comparing the North Battleford and Walkerton outbreaks. *Reliability Engineering & System Safety*, 80(3), 253–269. [https://doi.org/10.1016/s0951-8320\(03\)00052-8](https://doi.org/10.1016/s0951-8320(03)00052-8)
- Woods, D. & Levenson, N. (Eds), *Resilience Engineering. Concepts and precepts*. Hampshire,
- Xie, S. (2020). Hospital Nursing Information Sharing Platform based on Improved Particle Swarm Optimization Algorithm. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 750(1), 012229. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/750/1/012229>
- YEH, J., & LIN, W. (2007). Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department. *Expert Systems with Applications*, 32(4), 1073–1083. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.02.017>
- Yin, J., Xiang, W. (2012). Ant Colony Algorithm for Surgery Scheduling Problem. *Advances in Swarm Intelligence. ICSI 2012*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30976-2_24

Bibliographie

- Zelinka, Ivan & Burguillo, Juan. (2018). *Complex Systems*. 10.1007/978-3-319-69898-4_2.
- Zhang, X., Zhu, T., Luo, L., He, C., Cao, Y., & Shi, Y. (2013). Forecasting emergency department patient flow using Markov chain. 2013 10th International Conference on Service Systems and Service Management. <https://doi.org/10.1109/icsssm.2013.6602537>
- Zhang, Y., Balochian, S., Agarwal, P. & Bhatnagar, Vishal & Houshia, Orwa. (2016). *Artificial Intelligence and Its Applications 2014. Mathematical Problems in Engineering*. 2016. 10.1155/2016/3871575
- Zhang, Y., Wang, S. & Dong, Z. (2014). Classification of Alzheimer Disease Based on Structural Magnetic Resonance Imaging by Kernel Support Vector Machine Decision Tree. *Progress In Electromagnetics Research*. 144. 185-191. 10.2528/PIER13121310
- Zhao, H. (2004). Global asymptotic stability of Hopfield neural network involving distributed delays. *Neural Networks*, 17(1), 47–53. [https://doi.org/10.1016/s0893-6080\(03\)00077-7](https://doi.org/10.1016/s0893-6080(03)00077-7)
- Zhou, L., Geng, N., Jiang, Z., & Wang, X. (2019). Public Hospital Inpatient Room Allocation and Patient Scheduling Considering Equity. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 1–16. <https://doi.org/10.1109/tase.2019.2942990>
- Zhou, J., & Reniers, G. (2016). Petri-net based simulation analysis for emergency response to multiple simultaneous large-scale fires. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 554–562. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2016.01.026>
- Zhou, J., Wang, J., & Wang, J. (2019). A simulation engine for stochastic timed petri nets and application to emergency healthcare systems. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 6(4), 969–980. <https://doi.org/10.1109/jas.2019.1911576>
- Zhu, T., Luo, L., Zhang, X., & Shen, W. (2017). Modeling the Length of Stay of Respiratory Patients in Emergency Department Using Coxian Phase-Type Distributions with Covariates. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/jbhi.2017.2701779>
- Zhu, W., Patterson, B. W., Smith, M., Rifleman, A. C., Carayon, P., & Li, J. (2020). A Markov Chain Model for Transient Analysis of Handoff Process in Emergency Departments. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(3), 4360–4367. <https://doi.org/10.1109/lra.2020.2996066>
- ZIDI, I., Al-Omani, M., & Aldhafeeri, K. (2019). A New Approach Based On the Hybridization of Simulated Annealing Algorithm and Tabu Search to Solve the Static Ambulance Routing Problem. *Procedia Computer Science*, 159, 1216–1228. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.291>

ANNEXE – LISTES DES ABREVIATIONS

ANNEXE – LISTES DES ABREVIATIONS

SU	service d'urgence
RdPC	réseau de Petri colorée
RdP	Réseau de Petri
RpT	réseaux de Petri temporisés
RPCH	réseaux de Petri colorés hiérarchiques
AG	algorithme génétique
PSO	L'optimisation par essaims particulaires(Particle Swarm Optimization)
ST	système sociotechnique
NHS	Service de santé national (National Health Service)
SHI	assurance sociale maladie(social health insurance)
RS	Recuit simulé
UML	langage de modélisation unifié (unified modeling language)
OMG	Groupe de gestion d'objets (Object Management Group)
ISO	Organisation internationale de normalisation(International Organization for Standardization)
EA	algorithmes évolutionnaires (evolutionary algorithms)
ACO	algorithme d'optimisation des colonies de fourmis (ant colony optimization)
KPI	indicateurs clés performance(key performance indicators)
LOS	durée du séjour(Length of Stay)
DTDT	Temps passé de la porte au médecin (door-to-doctor time)
GUI	interface utilisateur graphique (graphical user interface)
NC	Consultation infirmière(Nursing consultation)
MC	Consultation médicale(Medical consultation)
VE	urgence vitale(vital emergency)
ESI	indice de gravité des urgences(emergency severity index)

ANNEXE – PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Nous présentons ci-dessous les différentes publications scientifiques qui ont découlé de ce travail de thèse.

Reuves scientifiques internationales

- Louhab, Z., & Boufera, F. (2022). Modelling and Simulation of Patient Flow in the Emergency Department During the COVID-19 Pandemic Using Hierarchical Coloured Petri Net. *International Journal of Open Source Software and Processes*, 13(1), 1–15. <https://doi.org/10.4018/ijosp.308790>
- Louhab, Z., & Boufera, F. (2023). A colored petri nets-based approach and genetic algorithms for improving services in the emergency department. *Computer Science Journal of Moldova* (2023 in print)

Conférences internationales

- Louhab, Z., & Boufera, F. (2023). A Novel Approach based on PSO and Coloured Petri Net for improving Services in the Emergency Department. 2nd international conference on smart systems and innovation technology (2023)