

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abderrahmane MIRA de Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes

Département de Recherche Opérationnelle



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master
en Mathématiques Appliquées

Spécialité : Modélisation, optimisation et aide à la décision

**Analyse et Amélioration des Performances d'un Service
d'Urgences Hospitalier : Cas du CHU de Béjaïa**

Présenté par :
Bedjaoui Matoub
Kasmi Loucif Massine

Défendu le 29/06/2025 devant le jury composé de :

Mme Y. Djabali	M.C.A	Présidente du jury	UAMB - Béjaïa
Mme F.Aoudia	Professeur	promoteur	UAMB - Béjaïa
Mme Z.Aoudia	M.A.A	co-promoteur	UAMB - Béjaïa
Mr R. Ait Ouakli	Doctorant	Examineur	UAMB - Béjaïa
Mme S.Kendi	M.C.B	Examinatrice	UAMB - Béjaïa

Année Universitaire 2024–2025

※ *Dédicace* ※

Je dédie ce travail :

À la mémoire de mon père, dont les principes continuent de me guider, et à ma mère, pour son soutien inébranlable et ses encouragements tout au long de ces années d'études.

A ma sœur Silia et mon beau frère Lyes et mes frères Mehdi et Yanis et ma belle sœur Sabine qui ont partagé avec moi tout les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A Ilicia qui m'a encouragé et soutenu pendant toutes mon parcours.

A mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A mes collègues, et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin

Loucif

✧ *Dédicace* ✧

Je dédie ce travail :

*À la mémoire de mon père, dont les principes continuent de me guider, et à ma mère,
pour son soutien inébranlable et ses encouragements tout au long de ces années
d'études.*

*A mes sœurs et mon beau frère et mes frères qui ont partagé avec moi tout les moments
d'émotion lors de la réalisation de ce travail. ils m'ont challeureusement supporté et
encouragé tout au long de mon parcours.*

A celle qui ma encouragé et soutenu pendant toutes ces années .

A mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A mes collègues, et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin

Matoub

Remerciment

Avant tout, nous tenons à remercier Dieu, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la volonté, la patience et surtout la santé durant toutes nos années d'études. Que Sa guidance nous accompagne tout au long de notre vie future.

Nous tenons à remercier nos encadrants, madame Z. AOUDIA et professeur F. AOUDIA, de nous avoir supervisées durant notre projet de fin d'étude, pour leurs orientations, leurs précieux conseils et encouragements qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude à nos parents et à nos familles, qui ont su nous supporter et encourager tout au long de notre vie, ainsi que pour leur patience, leur soutien et leur aide inestimable.

Nous tenons à exprimer également notre gratitude aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner et de juger notre travail.

Enfin, nous remercions tous ceux et celles qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire.

Table des matières

Remerciement	1
Liste des figures	6
Liste des Tables	7
1 Présentation de l'Hôpital Khalil Amrane	11
Introduction	11
1.1 Présentation du CHU Khellil Amrane de Béjaïa	12
1.1.1 Historique	12
1.1.2 Le martyr Khellil Amrane	12
1.1.3 Création et évolution vers le CHU de Béjaïa	13
1.1.4 Organigramme de l'hôpital Khellil Amrane	14
1.1.5 Missions	15
1.1.6 Services médicaux disponibles	15
1.1.7 La structure du service des urgences	16
1.1.8 le système de tri des patients	18
1.2 Position du problème	22
2 Définitions des concepts fondamentaux et état de l'art	24

Introduction	24
2.1 Définitions des concepts fondamentaux	25
2.1.1 Les urgences hospitalières	25
2.1.2 Gestion des urgences hospitalières	25
2.1.3 Files d'attente	25
2.1.3.1 Temps d'attente moyen	28
2.1.3.2 Temps de service	28
2.1.4 Saturation du Système	28
2.1.5 Goulots d'étranglement	29
2.1.6 Modélisation	29
2.1.7 Simulation	29
2.1.7.1 Les types de simulation	30
2.1.7.2 Etapes de la simulation	31
2.1.7.3 Test de Kolmogorov–Smirnov	31
2.1.8 Modèles de gestion des flux hospitaliers	32
2.2 État de l'Art : Synthèse des Approches de Modélisation et d'Optimisation des Flux aux Urgences	33
2.2.1 Modélisation des Flux Patients : Approches Com- parées	33
2.2.2 Normes internationales adaptées aux spécificités du CHU Khellil Amrane	36
3 Modélisation, analyse et inférence statistique du mouvement des malades	38
3.1 Mouvements des malades	39
3.1.1 Étape 1 : Accueil et tri	39
3.1.2 Étape 2 : Orientation selon le tri	39
3.2 Analyse et inférence statistique	41
3.2.1 Méthodologie d'ajustement des données	41
3.2.2 Ajustement des temps d'inter-arrivée des patients	42

3.2.2.1	Inter-arrivée a la salle de consultation bureau 1	42
3.2.2.2	Inter-arrivée a la salle de consultation bureau 4	43
3.2.3	Ajustement des temps de service	44
3.2.3.1	Salle de consultation bureau 1	44
3.2.3.2	Salle de consultation bureau 4	45
3.2.3.3	Salle de soins bureau 1	45
3.2.3.4	Salle de soins Bureau 4	46
3.3	Modèles de files d'attente obtenus	46
3.3.1	Modèle de files d'attente obtenu pour le bureau 1	47
3.3.2	Modèle de files d'attente obtenu pour le bureau 4	48
4	Évaluation des performances et amélioration	51
4.1	Présentation du simulateur et méthodologie de simulation	51
4.1.1	Description du simulateur développé en Python .	52
4.1.2	Architecture technique	52
4.1.3	Paramètres du modèle	52
4.1.4	Étapes de la simulation	53
4.1.5	Objectifs du simulateur	53
4.2	L'évaluation des performances de l'état actuel	54
4.2.1	L'évaluation des performances du bureau 1	54
4.2.2	Analyse comparative et optimisation du système	55
4.2.2.1	Variations du nombre de médecins	55
4.2.2.2	Variation du nombre de lits avec mé- decins fixes	58
4.2.2.3	Variation du nombre de médecins et le nombre de lits	60
4.2.3	Évaluation des performances – Bureau 4 (chirur- gie orthopédique)	64

4.2.4	État actuel – Bureau 4	64
4.2.5	Variations du nombre de lits	66
4.2.6	Variations du nombre de médecins	68
	Bibliographie	74

Table des figures

1.1	Organigramme de l'hôpital Khellil Amrane	14
1.2	Structure du service des urgences	18
1.3	Système de tri des patients	21
2.1	Serveurs en parallèle	26
2.2	Serveurs en série	26
2.3	réseau fille d'attente	26
2.4	Etapes de la simulation	31
3.1	Modélisation du mouvement des malades	41
4.1	Temps moyen d'attente	56
4.2	pourcentage de patients avec une attente supérieure au seuil critique	57
4.3	Nombre de journées saturés	57
4.4	Temps moyen d'attente	59
4.5	pourcentage de patients avec une attente supérieure au seuil critique	59
4.6	Nombre de journées saturés	60

4.7	Temps moyen d'attente	61
4.8	pourcentage de patients avec un temps d'attente supérieure au seuil critique	62
4.9	Nombre de journées saturés	62
4.10	Temps d'attente moyen	64
4.11	pourcentage de patients ayant dépassé le seuil	65
4.12	Nombre de journées saturées	65
4.13	Temps moyen d'attente selon les lits (1 médecin)	67
4.14	pourcentage de patients au-dessus du seuil critique selon les lits (1 médecin)	67
4.15	Nombre de journées saturées selon les lits (1 médecin)	68
4.16	Temps moyen d'attente	69
4.17	pourcentage de patients au-dessus du seuil critique	70
4.18	Nombre de journées saturées	70

Liste des tableaux

2.1	Positionnement méthodologique de notre travail par rapport aux contributions antérieures	36
2.2	Niveaux de triage adaptés au CHU Khellil Amrane	37
3.1	Test de Kolmogorov–Smirnov sur les inter-arrivées ($n = 213$, $\alpha = 5\%$, $D_\alpha \approx 0,09319$)	43
3.2	Test de Kolmogorov–Smirnov sur les inter-arrivées ($n = 482$, $\alpha = 5\%$, $D_\alpha \approx 0,06195$)	44
4.1	Résultats de la simulation – Scénario : 2 médecins, 9 lits	54
4.2	Résultats avec 9 lits et variation du nombre de médecins	55
4.3	Résultats – Variation du nombre de lits avec 2 médecins .	58
4.4	Résultats – Variation conjointe du nombre de médecins et de lits	61
4.5	Statistiques des performances de l'état actuel du bureau 4	64
4.6	Impact du nombre de lits sur les performances (1 médecin)	66
4.7	Effet de l'augmentation du nombre de médecins (lits fixés à 3)	69

Introduction générale

Le service des urgences occupe une place centrale dans le fonctionnement d'un hôpital. Il est en première ligne pour accueillir des patients dans des situations souvent critiques, imprévues et nécessitant une prise en charge rapide. Pourtant, ces services font face à des difficultés croissantes : augmentation constante de la fréquentation, temps d'attente élevés, manque de personnel ou de lits, et organisation parfois rigide. Ces contraintes peuvent compromettre la qualité de la prise en charge et générer des tensions internes.

Le CHU Khellil Amrane de Béjaïa reflète bien ces enjeux. Son service des urgences est organisé autour de cinq bureaux spécialisés et dispose d'un nombre limité de lits, notamment en déchocage. Il doit encaisser les vagues d'arrivées, imprévisibles et parfois brutales, sans jamais céder. Il accueille tout, à toute heure, souvent dans l'urgence, parfois dans le chaos. Mais quand la marée monte trop vite trop de patients, pas assez de lits, un personnel épuisé le système se tend, ralentit, et parfois se bloque. Cette configuration particulière, associée à une grande variabilité des arrivées de patients, rend la gestion des flux particulièrement complexe. De plus, le triage n'est pas figé : l'état des patients peut évoluer rapidement, nécessitant des réévaluations de priorité en temps réel. Ce triage dynamique ajoute une couche supplémentaire de difficulté dans l'organisation du service.

Face à ces défis, la modélisation et la simulation offrent des outils pertinents pour analyser les performances du système, identifier les points de blocage et tester des pistes d'amélioration. De nombreux travaux se sont intéressés à ces problématiques [7][11][6][10][13][8][5], notamment à travers des modèles de files d'attente ou des si-

mulations à événements discrets. Toutefois, ces études utilisent souvent des données théoriques (comme la loi exponentielle pour modéliser les arrivées) et restent peu adaptées aux réalités des hôpitaux .

Ce mémoire s’inscrit dans une démarche différente :notre approche repose sur un modèle généralisé. Ce modèle vise à mieux représenter le fonctionnement des urgences hospitalières dans leur diversité. En tenant compte de la structure du service, de ses contraintes humaines et matérielles, ainsi que du parcours réel des patients, nous avons développé un simulateur à événements discrets permettant d’évaluer les performances du système dans différentes configurations. À travers une série de scénarios, nous testons l’impact de modifications concrètes (ajout de personnel, variation du nombre de lits) afin d’en tirer des recommandations opérationnelles.

Ce travail a pour objectif de proposer une analyse réaliste, utile aux décideurs comme aux professionnels de santé, pour améliorer l’organisation du service des urgences dans un contexte contraint. Les questions de recherche qui guident notre travail sont les suivantes :

- Quels sont les dysfonctionnements majeurs dans l’organisation actuelle des flux de patients aux urgences ?
- Comment peut-on modéliser le système de manière fidèle, en tenant compte des spécificités observées sur le terrain (triage, affectation des lits, temps de consultation, etc.) ?
- Dans quelle mesure une simulation bien paramétrée permet-elle d’identifier des leviers concrets d’amélioration ?
- Quelles recommandations peut-on formuler pour une gestion plus fluide, plus équitable et plus efficace des urgences hospitalières ?

Pour y répondre, nous avons adopté une démarche en plusieurs étapes. Nous avons d’abord effectué une analyse de l’organisation existante à partir d’observations de terrain et de discussions avec le personnel soignant. Ensuite, nous avons procédé à une *analyse statistique des données disponibles*, portant notamment sur les temps d’arrivée et de service, afin d’identifier des lois de distribution pertinentes. À partir de ces éléments, nous avons construit un *modèle de files d’attente*, intégrant la variabilité des flux et des ressources, puis implémenté une *simulation en langage Python* pour évaluer le système dans sa configuration actuelle et tester différents scénarios d’amélioration.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Le **premier chapitre** est consacré à la présentation de l’environnement d’étude, à

savoir le CHU Khellil Amrane et plus particulièrement son service des urgences et la problématique.

- Le **deuxième chapitre** propose une revue de la littérature sur les concepts fondamentaux (files d'attente, triage, saturation, simulation, etc.) et un positionnement théorique de notre travail.
- Le **troisième chapitre** présente l'analyse statistique des flux observés, la construction des modèles et les hypothèses retenues.
- Enfin, le **quatrième chapitre** expose les résultats de la simulation, évalue les performances du système actuel, explore des scénarios d'amélioration et formule des recommandations opérationnelles.

Par ce travail, nous espérons apporter une contribution à la fois *académique*, en enrichissant les approches de modélisation appliquées aux contextes hospitaliers locaux, et *pratique*, en proposant des outils et des pistes d'action pour une meilleure gestion des urgences .

CHAPITRE 1

Présentation de l'Hôpital Khalil Amrane

Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter le cadre réel dans lequel se déroule notre étude, à savoir le Centre Hospitalo-Universitaire (CHU) Khellil Amrane de Béjaïa. Il s'agit d'un établissement de référence dans la région, qui assure des missions essentielles en matière de soins, d'enseignement et de recherche médicale.

Nous commencerons par retracer l'histoire de cet hôpital, en mettant en avant l'évolution de son statut vers celui de CHU, avant d'en décrire les principales structures médicales. Une attention particulière sera portée au service des urgences, qui fait l'objet de notre étude. Nous détaillerons son organisation interne, ses ressources humaines et matérielles, ainsi que le système de triage mis en place pour orienter les patients selon la gravité de leur état.

Cette présentation constitue une base essentielle pour mieux comprendre le contexte dans lequel apparaissent les problématiques que nous chercherons à résoudre dans les chapitres suivants.

1.1 Présentation du CHU Khellil Amrane de Béjaïa

Le CHU Khellil Amrane constitue un acteur majeur du système de santé local, dont voici les principales caractéristiques. [4]

1.1.1 Historique

En 1991, l'hôpital Khellil Amrane a été mis en service dans le secteur sanitaire de Béjaïa, qui ne comptait alors que deux établissements hospitaliers : l'hôpital d'Aokas et l'hôpital Frantz Fanon. Initialement classé en tant qu'Établissement Public Hospitalier (EPH), il est devenu en 2011 le siège du Centre Hospitalo-Universitaire (CHU) de Béjaïa.

La création officielle du CHU de Béjaïa a été entérinée par le décret exécutif n° 09-319 du 6 octobre 2009, complétant ainsi la liste des centres hospitalo-universitaires annexée au décret exécutif n° 97-467 du 23 décembre 1997, qui fixe les règles relatives à la création, à l'organisation et au fonctionnement des CHU en Algérie.

Cette évolution a suivi l'inauguration de la faculté de médecine de Béjaïa, consolidant ainsi le lien entre soins, enseignement et recherche au sein de la région.

1.1.2 Le martyr Khellil Amrane

Le Docteur Khellil Amrane, à la mémoire duquel l'hôpital porte aujourd'hui son nom, est né le 3 novembre 1931 à Béjaïa. Issu d'une famille attachée aux valeurs de l'éducation et de la réussite académique, il a bénéficié d'un double parcours de formation : enseignement général au collège de Béjaïa et instruction en langue arabe à la Medersa, foyer actif de la pensée nationaliste. Il s'est également impliqué dans le mouvement scout local, qui a joué un rôle important dans la formation des cadres de la lutte de libération.

Étudiant en cinquième année de chirurgie dentaire à l'Université d'Alger, Khellil Amrane participe à la grève estudiantine du 19 mai 1956, marquant ainsi son engagement dans le combat national. Après une première tentative infructueuse pour rejoindre le maquis, il parvient à intégrer les rangs de la wilaya IV, puis de la wilaya III. Surnommé « Si Ali sanitaire » par ses compagnons, il y crée une école de formation pa-

ramédicale, contribuant de manière significative à l'organisation des soins au sein de la résistance.

Le 6 novembre 1961, alors qu'il se trouvait avec trois compagnons dans un refuge situé à Ikedjane (commune de Tifra), il est surpris à l'aube par une opération militaire. Malgré un rapport de force défavorable, ils opposent une vive résistance. Il trouve la mort au combat, laissant le souvenir d'un engagement total au service de la cause nationale, tant sur le plan médical que patriotique

1.1.3 Création et évolution vers le CHU de Béjaïa

Le Centre Hospitalo-Universitaire (CHU) de Béjaïa a été officiellement créé par le décret exécutif n° 09-319 du 6 octobre 2009, en complément au décret exécutif n° 97-467 du 23 décembre 1997, fixant les règles de création, d'organisation et de fonctionnement des CHU en Algérie.

Ce CHU regroupe trois structures hospitalières majeures de la région :

- **L'Hôpital Khellil Amrane** : Inauguré en 1991, il est situé au village Smina et constitue le siège administratif du CHU.
- **L'Hôpital Frantz Fanon** : Localisé à Bordj Moussa, dans la vieille ville de Béjaïa, il représente l'un des pôles médicaux historiques de la région.
- **La Clinique Mère-Enfant Targa Ouzemmour** : Établie à Tala Merkha, elle est spécialisée dans les soins pédiatriques et obstétricaux.

Ce regroupement permet d'assurer une couverture sanitaire élargie à l'ensemble de la wilaya de Béjaïa, tout en favorisant une meilleure coordination des soins.

Le CHU de Béjaïa est affilié à la faculté de médecine de l'Université Abderrahmane Mira de Béjaïa, ce qui lui confère une mission tripartite : *soins, enseignement et recherche*. À ce titre, il participe activement à la formation des étudiants en médecine, ainsi qu'à la recherche clinique et paramédicale en lien avec les besoins locaux en santé publique.

La création du CHU a ainsi permis de structurer et de renforcer l'offre de soins dans la région, tout en assurant l'intégration d'une dimension universitaire essentielle au dé-

veloppement des compétences médicales et scientifiques.

1.1.4 Organigramme de l'hôpital Khellil Amrane

L'organigramme de l'hôpital Khellil Amrane est :

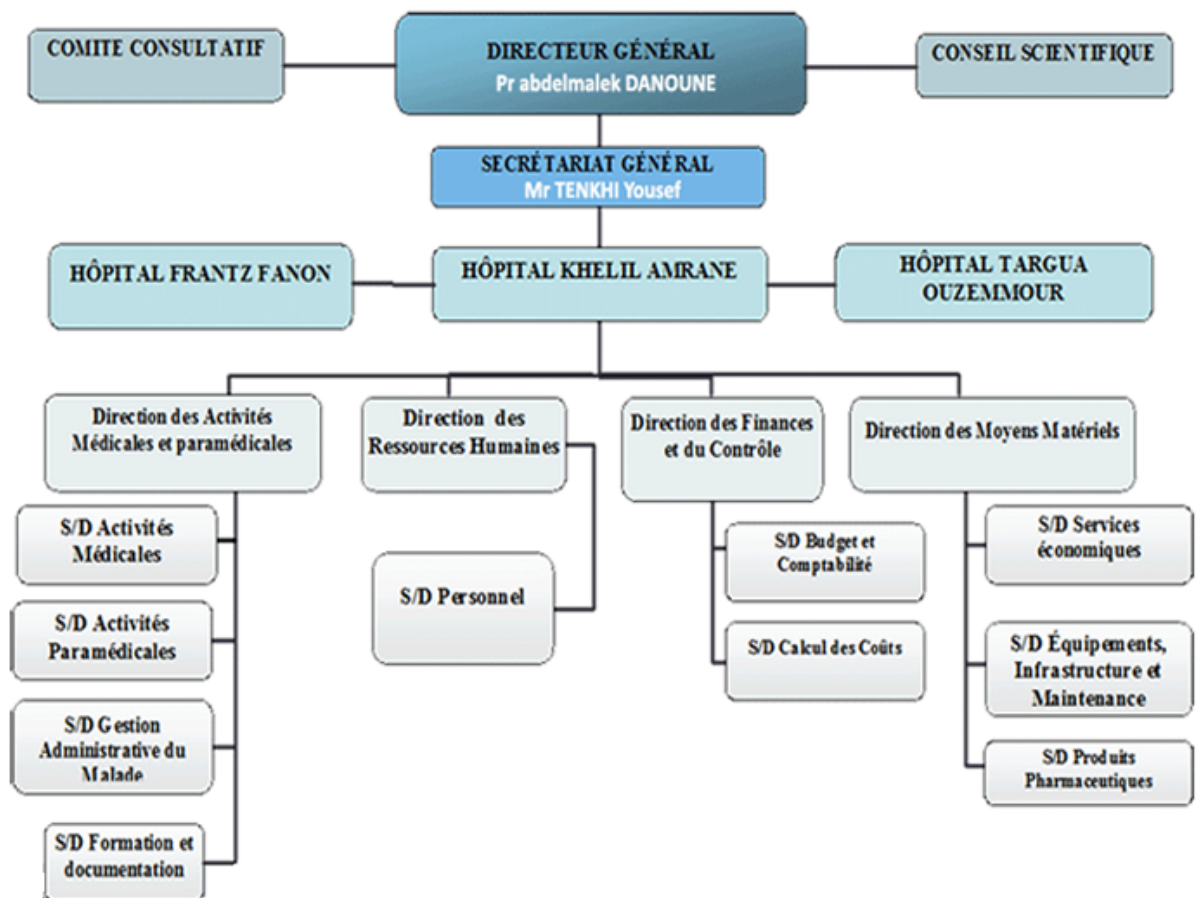


FIGURE 1.1 – Organigramme de l'hôpital Khellil Amrane

1.1.5 Missions

Le CHU Khellil Amrane est chargé de plusieurs missions essentielles :

- Assurer des soins médicaux spécialisés et de qualité pour la population.
- Contribuer à la formation clinique des étudiants en médecine, pharmacie et autres spécialités de santé.
- Participer à la recherche médicale et scientifique, en collaboration avec l'université.
- Mettre en œuvre des actions de prévention, d'exploration et d'éducation sanitaire.

Ces fonctions sont exercées en coordination avec les autres établissements hospitaliers et les structures de santé de proximité de la région.

1.1.6 Services médicaux disponibles

: Le CHU dispose d'un large éventail de services spécialisés, répartis entre les différentes unités hospitalières. Parmi les principaux services de l'hôpital Khellil Amrane figurent :

- Médecine interne (hommes/femmes)
- Cardiologie (hommes/femmes)
- Chirurgie générale (hommes/femmes)
- Chirurgie infantile
- Chirurgie orthopédique
- Neurochirurgie
- Pédiatrie
- Réanimation
- Imagerie médicale
- Urgences médico-chirurgicales
- Bloc opératoire central
- Laboratoire central

1.1.7 La structure du service des urgences

Le service des urgences du CHU Khellil Amrane est conçu pour assurer une prise en charge rapide, organisée et adaptée à la gravité des cas médicaux. Il est composé de plusieurs unités fonctionnelles qui permettent de trier, consulter et soigner les patients selon la nature et l'urgence de leur état.

a) Les unités de déchocage

Le service comprend deux bureaux de déchocage :

- **Le bureau de déchocage médical**, équipé de **3 lits**, prend en charge les patients présentant des détresses médicales graves, nécessitant une intervention immédiate.
- **Le bureau de déchocage chirurgical**, également doté de **3 lits**, est réservé aux urgences chirurgicales vitales, telles que les traumatismes sévères.

b) Le bureau de tri

A l'entrée du service tout les patients sont orientés via un **bureau de tri**, où une première évaluation clinique est effectuée par un professionnel de santé expérimenté un infirmier spécialisé, chargé d'évaluer rapidement l'état du patient, Cette étape permet de déterminer le niveau d'urgence et d'orienter le patient vers le bureau spécialisé approprié.

c) Les bureaux de consultation

Le service est organisé autour de **cinq bureaux**, chacun étant dédié à un type spécifique d'urgence :

- **Bureau 1 (B1) – Urgences rouges** : Ce bureau prend en charge les urgences vitales. Il comprend :
 - Une **salle de consultation** .
 - Une **salle de soins** équipée de **9 lits**.
 - 2 médecin.
- **Bureau 2 (B2) – Urgences de neurochirurgie** : Destiné aux cas relevant de la neurologie et de la neurochirurgie. Il est composé :
 - D'une **salle de consultation** .

-
- D'une **salle de soins** avec **3 lits**.
 - un médecin .
 - **Bureau 3 (B3) – Urgences viscérales** : Ce bureau prend en charge les douleurs abdominales aiguës ou autres pathologies viscérales graves. Il comporte :
 - Une **salle de consultation** .
 - Une **salle de soins** dotée de **3 lits**.
 - un médecin.
 - **Bureau 4 (B4) – Urgences orthopédiques** : Spécialisé dans les traumatismes osseux et articulaires. Il comprend :
 - Une **salle de consultation** .
 - Une **salle de soins** équipée de **3 lits**.
 - un médecin.
 - **Bureau 5 (B5) – Urgences mineures** : Il traite les cas moins graves ou bénins (petits traumatismes, symptômes modérés, etc.). Il dispose :
 - D'une **salle de consultation** .
 - D'un **seul lit de soins**.
 - un médecin.

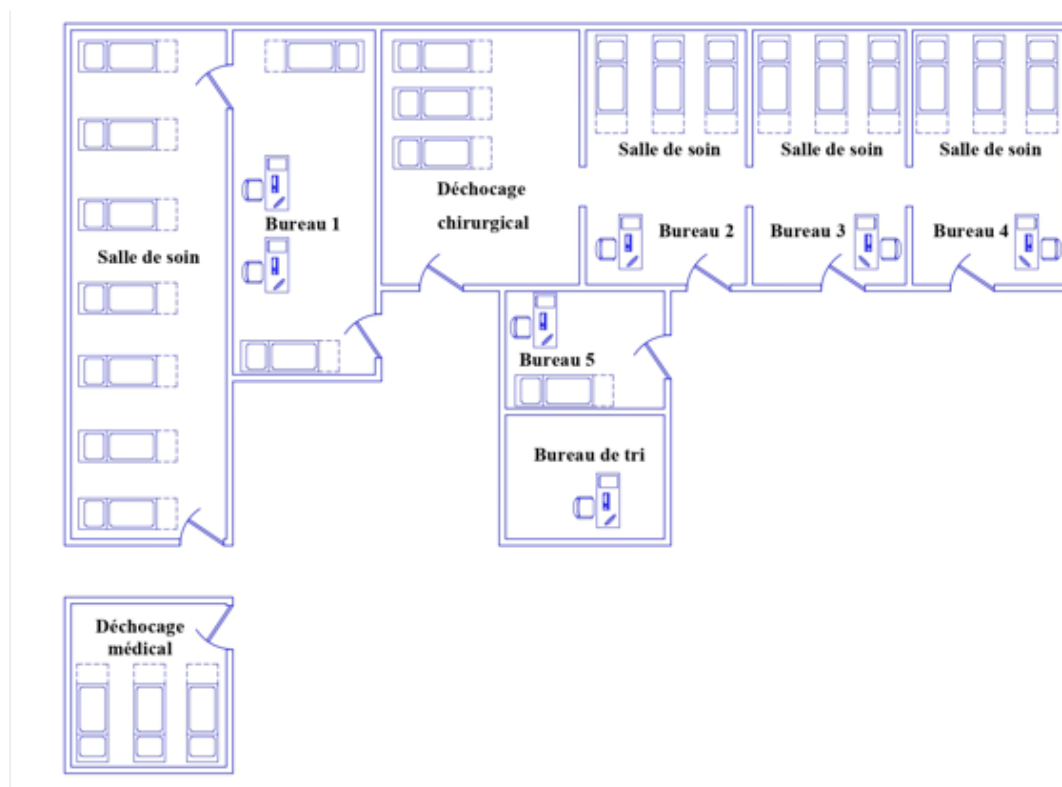


FIGURE 1.2 – Structure du service des urgences

1.1.8 le système de tri des patients

Le tri repose sur plusieurs critères cliniques tels que la conscience, la respiration, la douleur, les signes vitaux, l'âge, les maladies chroniques et l'état général du patient. Elle permet de déterminer la priorité de prise en charge selon un code couleur, inspiré du triage international .

Le tri oriente vers deux grands types d'urgences :

- Urgences médicales
 - Urgences chirurgicales
- Pour les urgences médicales :
- Code rouge Bureau 1 (B1)
 - Codes orange et vert Bureau 5 (B5)

- Pour les urgences chirurgicales : Les patients sont orientés vers Bureau 2, 3 ou 4 selon la spécialité (neurochirurgie, viscéral, orthopédie) Chacun de ces bureaux (B2, B3, B4) prend en charge tous les codes : rouge, orange et vert.

Protocole de Classification des Patients

Rouge (score ≥ 15)

Urgent (douleur thoracique , trauma grave) nécessitant une prise en charge en (<15 min)

Jaune (score 8-14)

Moins urgent (fracture ...) prises en charge sous 30 min dans les bureaux spécialisés

Vert (score ≤ 7)

Non urgences mineures (rhum) traitées en différé (<1h) au bureau B5.

Critères de Classification et Barème de Points

Critère	Classes	Points
Âge	< 5 ans	+3
	5 à 45 ans	+1
	45 à 65 ans	+2
	> 65 ans	+3
Antécédents	0 ATCD	+0
	1 ATCD	+1
	2 ATCD	+2
	≥3 ATCD	+3
État Général	Bon (B)	+1
	Moyen (M)	+2
	Altéré (ALT)	+3
	Comateux (COM)	+13
	Douleur thoracique	+13
	Dyspnée	+13
	Hypoglycémie	+13
	Crise convulsive	+13
	Malaise	+13
	Mode d'Arrivée	Transport personnel
Taxi		+1
Évacuation simple (LD)		+2
Ambulance urgente		+3

Calcul du Score et Priorisation

$$\text{Score total} = \left(\begin{array}{l} \text{Points Âge} \\ + \\ \text{Points ATCD} \\ + \\ \text{Points État} \\ + \\ \text{Points Arrivée} \end{array} \right)$$

- **Rouge** (Urgent) : ≥ 15 points → Prise en charge <15 min
- **Jaune** (Moins urgent) : 8-14 points → Délai <30 min
- **Vert** (Non urgent) : ≤ 7 points → Délai >1h

Exemples Cliniques

- **Cas 1** : 70 ans (3) + Diabète (1) + Comateux (13) + Ambulance (3)
⇒ Score = 20 → **Rouge**

-
- **Cas 2** : 30 ans (1) + 1 ATCD (1) + Douleur thoracique (13) + Transport perso (0)
⇒ Score = 15 → Rouge

- **Cas 3** : 50 ans (2) + Sans ATCD (0) + Moyen (2) + Taxi (1)
⇒ Score = 5 → Vert

Cas complexes :

- L'infirmier peut surclasser un patient lorsque le score ne reflète pas la gravité clinique réelle. Enfant < 5 ans avec fièvre > 39°C → classé jaune malgré score 4 ;

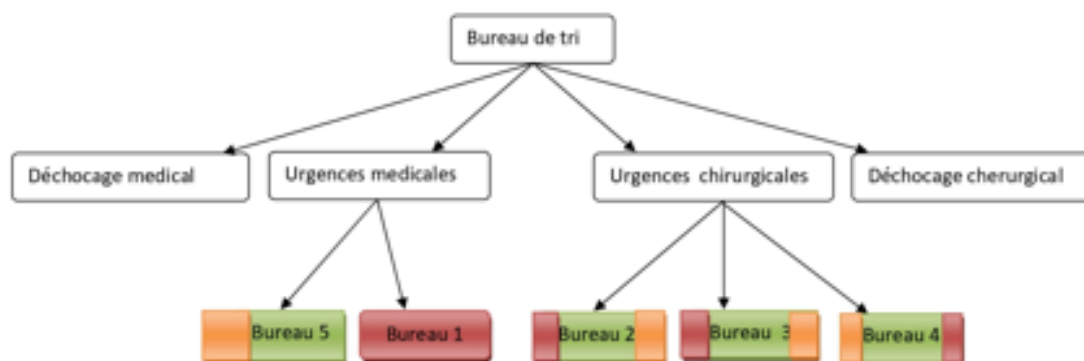


FIGURE 1.3 – Système de tri des patients

1.2 Position du problème

Le service des urgences occupe une place centrale dans le système de santé, en assurant la prise en charge immédiate des patients en situation critique. Cependant, dans de nombreux établissements, y compris au CHU Khellil Amrane de Béjaïa, ce service est confronté à une réalité difficile : une forte affluence de patients face à des ressources limitées.

Cette situation provoque deux problèmes majeurs : des temps d'attente souvent très élevés, même pour des cas graves, et une saturation régulière du service, rendant parfois impossible l'accueil de nouveaux patients. Ces dysfonctionnements peuvent retarder les soins, mettre en danger les patients, et augmenter la pression sur le personnel médical.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est de comprendre les causes de ces blocages et d'analyser le fonctionnement réel du service des urgences, afin de proposer des solutions concrètes pour améliorer la prise en charge, réduire les temps d'attente et limiter les situations de saturation.

Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons présenté de manière détaillée le CHU Khellil Amrane de Béjaïa, en mettant l'accent sur son histoire, ses missions, ses services médicaux, et plus particulièrement son service des urgences. Cette exploration nous a permis de mieux comprendre l'environnement dans lequel se posent les problèmes étudiés dans ce mémoire.

La structure complexe du service des urgences, son organisation en bureaux spécialisés, ainsi que le protocole de tri des patients montrent à quel point la gestion des flux y est cruciale. Toutefois, cette organisation est confrontée à de nombreuses difficultés telles que la saturation des ressources, le manque de lits et de personnel, et l'allongement des temps d'attente.

Ces constats justifient pleinement notre démarche, qui vise à analyser ces dysfonctionnements et à proposer des solutions pour améliorer la fluidité et l'efficacité du service. Le prochain chapitre posera les bases théoriques nécessaires pour aborder cette problématique.

CHAPITRE 2

Définitions des concepts fondamentaux et état de l'art

Introduction

Ce chapitre introduit les concepts essentiels liés à la gestion des urgences hospitalières, tels que les files d'attente, le temps d'attente, la saturation ou encore la modélisation. Il s'inscrit dans la continuité de l'introduction générale en posant les bases théoriques nécessaires à l'analyse des flux de patients.

L'objectif est de définir un cadre conceptuel clair et présenter les principales approches de modélisation et d'optimisation utilisées dans les services d'urgences, en particulier celles adaptées au contexte algérien.

Le chapitre est structuré en trois parties : définitions des concepts fondamentaux, cadre théorique (théorie des files d'attente et gestion des flux hospitaliers), puis revue des travaux existants.

2.1 Définitions des concepts fondamentaux

2.1.1 Les urgences hospitalières

Les urgences hospitalières désignent un service hospitalier spécialisé dans la prise en charge de patients présentant des pathologies aiguës, potentiellement graves ou nécessitant une attention médicale rapide, sans rendez-vous préalable. Ce service assure le tri, le diagnostic, les premiers soins, l'orientation ou l'hospitalisation des patients selon la gravité de leur état.

2.1.2 Gestion des urgences hospitalières

La gestion des urgences hospitalières désigne l'ensemble des processus organisationnels, techniques et humains visant à optimiser la prise en charge des patients en état critique dans un service d'urgences. Elle intègre la coordination des ressources (humaines, matérielles, spatiales) pour répondre efficacement à une demande imprévisible tout en garantissant des soins de qualité.

2.1.3 Files d'attente

Une **file d'attente** est un système dans lequel des entités (par exemple : des clients, des patients, des tâches) arrivent pour être traitées ou servies par une ou plusieurs ressources. Les entités qui arrivent sont souvent mises en attente si la ressource est occupée, elles sont ensuite servies dès qu'une ressource devient disponible [1].

Un système de file d'attente est caractérisé par :

- **Le Flux d'arrivées** : Les arrivées peuvent être régulières (déterministes) ou complètement aléatoires, individuelles ou groupées.
- **L'organe de service** : Le service peut être constitué d'un ou plusieurs serveurs, qui peuvent être disposés de diverses façons :
 - **Serveurs en parallèle** : cette disposition concerne des files où le client a le choix du serveur : les de personnes en attente dans une administration orant plusieurs services, les de consommateurs en attente aux caisses de paiement dans un hypermarché, les de voitures se présentant à un péage d'autoroute...

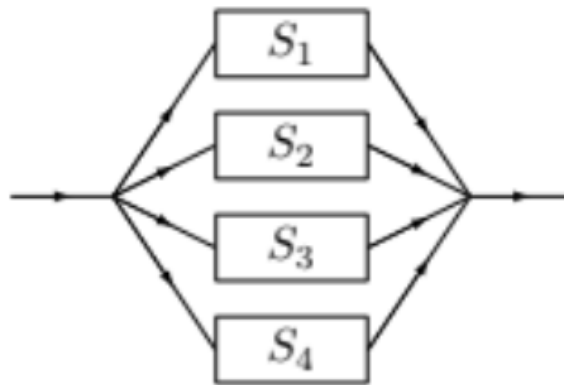


FIGURE 2.1 – Serveurs en parallèle

- **Serveurs en série** :cette disposition concerne des services à la chaîne : service de restauration, service des cartes grises dans une préfecture (nécessitant deux temps : enregistrement puis confection de cartes), visite médicale dans une inrmerie (nécessitant plusieurs contrôles successifs),chaînes de production avec contrôle de qualité...

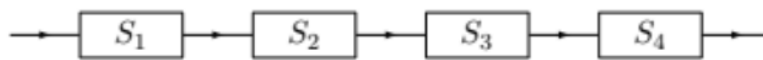


FIGURE 2.2 – Serveurs en série

- **Réseau file d'attente** :cette disposition est beaucoup plus complexe et réaliste : centraux de télécommunications,réseaux informatiques, internet...

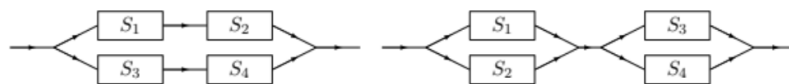


FIGURE 2.3 – réseau file d'attente

-
- **Discipline de service** : La discipline de service indique dans quel ordre sont traités les clients. Un certain nombre de courantes sont adoptées. [label=•]
 - FIFO (First In First Out) : Le premier arrive est le premier servi.
 - LIFO (Last In First Out) : Le dernier arrive est le premier servi.
 - Random (aleatoire) : Les clients accèdent au serveur de manière aléatoire, indépendamment de l'ordre des arrivées.
 - Priorité relative : Un client accède au service selon sa priorité. La file est gérée par ordre de priorité de la plus forte à la plus faible.
 - Priorité absolue : Le service d'un client est interrompu lorsqu'un client de priorité supérieure se présente devant la file d'attente. Le client dont le service est interrompu est remis en tête de la file.

Classification des systèmes d'attente : notation de Kendall

Pour la classification des systèmes de file d'attente, on utilise la notation symbolique de Kendall[1] :

A/B/S (k/n/Z)

Cette notation précise six paramètres qui caractérisent un système de file d'attente :

- **A** : distribution des temps entre deux arrivées successives ;
- **B** : distribution des durées de service ;
- **S** : nombre de postes de service ;
- **k** : capacité de la file d'attente (peut être finie ou infinie). Si elle est finie, le $(k + 1)^{\text{e}}$ client est refusé (système avec perte) ;
- **n** : capacité totale du système. Si $n < \infty$, alors la longueur maximale de la file est $k = n - S$;
- **Z** : discipline de service (ordre de priorité des clients dans la file).

Par défaut, si les paramètres k , n et Z ne sont pas explicités, alors on prend par défaut

$$\infty/\infty/\text{FIFO}$$

Pour spécifier les distributions A et B, on introduit les symboles suivants :
Pour spécifier les distributions A et B, on utilise les abréviations suivantes :

- **M** : loi exponentielle (Markovienne);
- **D** : distribution déterministe (temps constant);
- **G** : distribution générale (n'importe quelle loi);
- **E_k** : loi d'Erlang d'ordre k ;
- **H_k** : loi hyper-exponentielle d'ordre k .

2.1.3.1 Temps d'attente moyen

Le temps d'attente moyen est une métrique fondamentale des systèmes de files d'attente qui quantifie la durée moyenne passée par un client (ou patient) dans la file avant d'être servi [1].

Il est influencé par :

- Le taux d'arrivée des patients .
- La disponibilité des médecins et du personnel soignant .
- Le niveau de priorité assigné au patient.
- La capacité du service.

Réduire le temps d'attente moyen est un objectif prioritaire dans les services d'urgence afin de garantir la qualité des soins.

2.1.3.2 Temps de service

Le temps de service correspond à la durée nécessaire pour traiter un patient ou un client du début à la fin de sa prise en charge dans un point donné du système [1].

2.1.4 Saturation du Système

Un système saturé veut dire qu'il ne peut plus accueillir de nouveaux patients faute de ressources disponibles [4]. Ce phénomène se manifeste par :

- Des files d'attente qui s'allongent démesurément.
- Des patients qui attendent plus que le seuil acceptable.
- Des soins retardés, augmentant les risques médicaux.

2.1.5 Goulots d'étranglement

Les goulots d'étranglement désignent les points critiques où le flux de patients est ralenti en raison d'un déséquilibre entre la charge et la capacité de traitement. Ils se caractérisent par :

- Une accumulation anormale de patients à une étape spécifique.
- Une augmentation non linéaire des temps d'attente .

2.1.6 Modélisation

La modélisation vise à représenter formellement un phénomène réel dans un but de compréhension, de prédiction. Elle repose sur l'abstraction et la formalisation.

Dans le cadre des services hospitaliers, modéliser signifie :

- Représenter les flux de patients à travers les différents services .
- Définir les règles de priorisation (triage, urgence) .
- Évaluer les performances sous différentes conditions.

La modélisation peut être analytique (formules mathématiques), ou numérique (simulation).

2.1.7 Simulation

La simulation est une méthode d'analyse qui consiste à reproduire artificiellement le comportement d'un système réel[7], en utilisant un modèle représentatif. Elle permet d'étudier des situations complexes dans lesquelles une observation directe ou une expérimentation réelle serait difficile, coûteuse, dangereuse, voire impossible. En créant un modèle du système, il devient possible d'observer l'impact de différents paramètres et scénarios sur son fonctionnement, sans interrompre ou perturber le système réel.

Utilisée dans de nombreux domaines (industrie, logistique, transports, santé, économie, etc.), la simulation s'est imposée comme un outil d'aide à la décision stratégique et opérationnelle. Elle permet, par exemple, d'évaluer les performances d'un système, de prévoir les conséquences de certaines décisions, ou encore de tester différentes configurations avant leur mise en œuvre.

2.1.7.1 Les types de simulation

Il existe plusieurs formes de simulation selon la nature du système étudié :

- Simulation continue : utilisée pour modéliser des systèmes dont les états évoluent de manière continue dans le temps, souvent à l'aide d'équations différentielles (ex : température, débit).
- Simulation discrète : le système est représenté par une suite d'événements distincts dans le temps. Ce type de simulation est particulièrement adapté aux systèmes avec files d'attente, gestion de ressources, ou processus logistiques.
- Simulation à base d'agents : chaque entité est modélisée comme un agent autonome capable de prendre des décisions. Cette approche est utile pour représenter des comportements individuels dans des systèmes complexes.

2.1.7.2 Etapes de la simulation

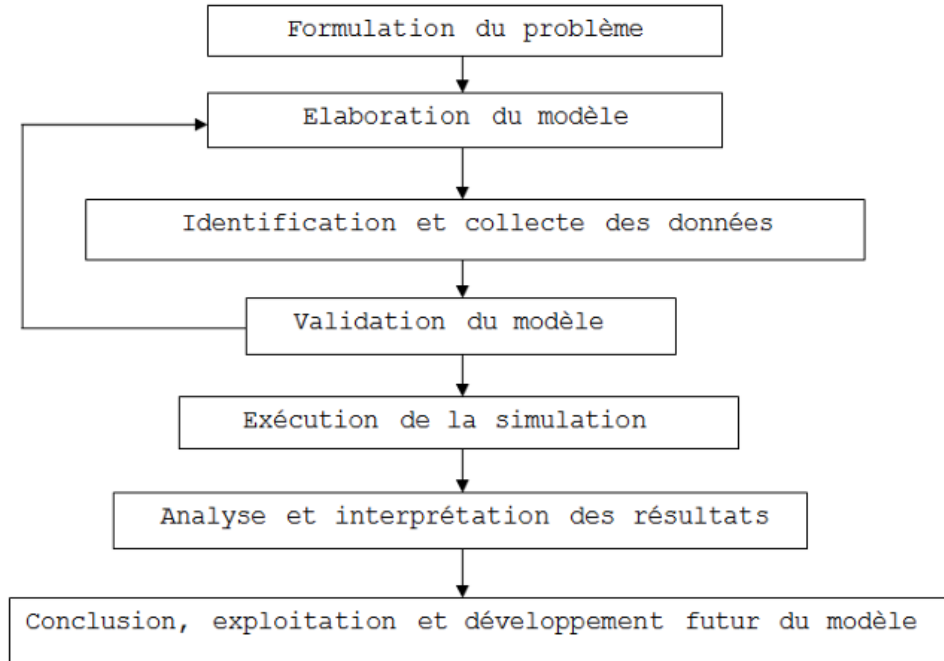


FIGURE 2.4 – Etapes de la simulation

2.1.7.3 Test de Kolmogorov–Smirnov

Ce test est basé sur la comparaison de la fonction de répartition empirique (ou observée) de l'échantillon, notée $\hat{F}_n(x)$, et la fonction de répartition théorique $F(x)$ de la population.

Principe du test : On suppose que la fonction de répartition F de la variable aléatoire X est continue et strictement croissante. Le test de Kolmogorov–Smirnov implique le calcul :

- De $\hat{F}_n(x)$, la fonction de distribution empirique, définie par :

$$\hat{F}_n(x) = \frac{\text{nombre de } X_i < x}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbb{1}_{]-\infty, x[}(X_i)$$

-
- De l'écart maximal entre la fonction de répartition empirique et la fonction de répartition théorique :

$$D_n = \sup_{x \in \mathbb{R}} |\hat{F}_n(x) - F(x)|$$

Règle de décision :

- Si $D_n > d_\alpha$, on rejette l'hypothèse nulle H_0 .
- Si $D_n \leq d_\alpha$, on accepte H_0 .

où d_α est la valeur critique (ou tabulée) du test de Kolmogorov–Smirnov au seuil α .

2.1.8 Modèles de gestion des flux hospitaliers

La gestion des flux hospitaliers vise à optimiser le parcours des patients au sein des établissements de santé. Elle repose sur des approches issues du domaine industriel, adaptées au secteur hospitalier, comme :

- **Le Lean Management** : élimination des gaspillages, focalisation sur la valeur ajoutée,
- **La théorie des contraintes** : identification et gestion des goulots d'étranglement,
- **La planification des ressources** : anticipation et allocation optimisée des ressources hospitalières.

Le cadre proposé par l'Institute for Healthcare Improvement (IHI) pour une gestion hospitalière efficace des flux comprend :

1. **Agir sur la demande** : en orientant les patients ou en différant les soins non urgents,
2. **Ajuster la capacité** : par une flexibilité des ressources (lits, personnel, équipement),
3. **Repenser le système** : réorganisation des processus et des structures de soins.

Ces modèles permettent de mieux comprendre et d'anticiper les phénomènes de saturation aux urgences, en intégrant les dynamiques de files d'attente, les priorités cliniques et la gestion des ressources limitées [6].

2.2 État de l'Art : Synthèse des Approches de Modélisation et d'Optimisation des Flux aux Urgences

Diverses méthodologies ont été mises en œuvre pour analyser et optimiser les flux dans les services d'urgences, avec des applications variées. Ces approches incluent des techniques avancées comme la modélisation et la simulation, adaptées à des contextes spécifiques. Elles visent à améliorer l'efficacité et la qualité des soins en identifiant les points critiques.

2.2.1 Modélisation des Flux Patients : Approches Comparées

Modélisation par files d'attente M/M/c (El Oualidi et al., 2010)

Une expérimentation menée à l'hôpital Ibn Rochd au Maroc a mis en lumière l'intérêt des files d'attente de type M/M/c pour détecter les points de saturation au sein des services hospitaliers. L'analyse des temps moyens d'attente a permis de localiser efficacement les goulets d'étranglement. Grâce à leur simplicité de paramétrage, ces modèles se prêtent particulièrement bien à une application dans les services spécialisés du CHU. Néanmoins, ils peinent à représenter les parcours complexes, notamment les requalifications cliniques ou transferts entre unités, soulignant ainsi la nécessité d'extensions ou de couplages avec d'autres outils [9].

Gestion dynamique des urgences chirurgicales (Jlassi, 2009)

Dans un contexte de prise en charge chirurgicale urgente, l'introduction de priorités dynamiques a permis de mieux refléter la variabilité de la gravité des cas. Cette approche adaptative, testée notamment au CHU de Béjaïa, optimise l'allocation des ressources en temps réel selon la criticité des patients. Elle s'avère précieuse pour les structures à forte variabilité clinique. Toutefois, la méthode reste sensible aux pics de charge, et son efficacité dépend fortement du réglage précis des priorités et des seuils d'intervention [13].

Analyse des flux aux urgences – Hôpital Khellil Amrane

Une modélisation fine des itinéraires patients dans le service des urgences de l'hôpital Khellil Amrane a permis de diagnostiquer les défaillances du système. Fondée sur les réseaux de files d'attente, l'étude offre des leviers opérationnels concrets, avec une

attention particulière portée aux interactions entre sous-unités (triage, imagerie, hospitalisation, etc.). Cette approche insiste sur l'importance d'une vision systémique des flux et sur la nécessité de disposer de données détaillées pour affiner les scénarios de simulation [5, 11].

Optimisation des parcours aux urgences – Hôpital de Tlemcen

Le cas du service des urgences de l'hôpital de Tlemcen a été abordé via une approche mêlant modélisation et simulation pour identifier des axes d'amélioration spécifiques. L'étude a mis en évidence l'effet structurant des éléments physiques (espaces, accès) et organisationnels (protocoles, affectation du personnel) sur la fluidité des parcours. Bien que les recommandations soient transposables à d'autres établissements similaires, certaines contraintes propres, notamment en ressources humaines, limitent parfois leur mise en œuvre immédiate [12].

Simulation par Réseaux de Petri

Une approche a été développée par [3] qui combine réseaux de Petri et UML pour l'analyse systémique des flux hospitaliers, particulièrement efficace pour évaluer l'impact des réallocations de lits un enjeu crucial pour les CHU confrontés à des tensions capacitives. Cette méthodologie permet d'analyser finement les conséquences des réorganisations spatiales et temporelles des ressources sur les parcours patients et la saturation des services. Comme les travaux [2]

Systèmes multi-agents et optimisation médico-économique (Apété, 2012)

Les travaux de Geoffroy Apété s'inscrivent dans une démarche d'optimisation médico-économique des services d'urgences, en mobilisant les systèmes multi-agents et les algorithmes d'ordonnancement. L'étude s'appuie sur le principe de tarification à l'activité pour améliorer l'allocation des ressources hospitalières. Bien que développée dans un contexte européen, cette approche présente un fort potentiel d'adaptation aux réalités budgétaires et organisationnelles du CHU [10].

Systèmes multi-agents et tarification à l'activité (Apété, 2012)

Dans le cadre de sa thèse de doctorat, Geoffroy Apété a exploré le recours aux systèmes multi-agents couplés à des algorithmes d'ordonnancement pour optimiser l'allocation des ressources hospitalières. L'approche repose sur la tarification à l'activité,

visant à ajuster dynamiquement les moyens en fonction des actes réalisés. Conçue initialement pour des systèmes hospitaliers européens, cette méthodologie offre des leviers intéressants pour répondre aux contraintes financières et structurelles du CHU [10].

Synthèse comparative

Les limites identifiées précédemment soulignent la nécessité d'une approche plus fine, capable de modéliser les spécificités organisationnelles et cliniques du service des urgences du CHU. Dans ce cadre, notre travail propose une modélisation contextualisée et validée à partir de données réelles, afin de surmonter les insuffisances des approches classiques.

Le tableau suivant synthétise les principales différences entre les contributions antérieures et notre propre démarche. Il met en évidence les axes d'amélioration introduits, tant sur le plan méthodologique (simulation à événements discrets, analyse scénarisée) que sur le plan structurel (prise en compte des cinq bureaux spécialisés, intégration du triage évolutif, etc.). Ce positionnement clarifie les apports concrets de notre étude par rapport à l'existant.

Aspect analysé	Travaux existants	Notre approche
Structure organisationnelle	Modèles génériques, sans prise en compte des spécificités locales	Intégration de la structure réelle du service des urgences du CHU Khellil Amrane (5 bureaux spécialisés, ...)
Flux patients	Modélisation agrégée ou simplifiée des flux	Reconstitution détaillée des trajectoires patient selon le bureau (B1 à B5) et les niveaux de triage
Triage dynamique	Approche statique (code fixe à l'admission)	Modélisation du triage évolutif : surclassements, déclassements, ajustement selon l'état clinique
Analyse des performances	Analyse limitée aux moyennes globales	Évaluation détaillée par bureau, avec indicateurs comme le temps moyen, patients bloqués, jours saturés
Objectif opérationnel	Diagnostic général des urgences hospitalières	Aide à la décision locale par analyse scénarisée des ressources (médecins/lits) selon les contraintes du CHU

TABLE 2.1 – Positionnement méthodologique de notre travail par rapport aux contributions antérieures

2.2.2 Normes internationales adaptées aux spécificités du CHU Khellil Amrane

[3][7][15][16] Afin d'assurer une évaluation cohérente de l'urgence des cas, il est essentiel d'adopter un système de triage structuré. Dans la continuité de notre modélisation, nous avons adapté les normes internationales aux réalités du CHU Khellil Amrane, en tenant compte de ses ressources et de son fonctionnement. Le tableau ci-dessous présente les niveaux de priorité inspirés du CTAS, ajustés pour cadrer avec les pratiques observées localement. Ces niveaux guident les délais de prise en charge selon la gravité

clinique du patient.

TABLE 2.2 – Niveaux de triage adaptés au CHU Khellil Amrane

Niveau de tri	Délai objectif
Niveau 1 - Réanimation	Immédiat (0 minute)
Niveau 2 - Vital	≤ 15 minutes
Niveau 3 - Urgent	≤ 30 minutes
Niveau 4 - Moins urgent	≤ 60 minutes
Niveau 5 - Non urgent	≤ 120 minutes

- Canadian Triage and Acuity Scale (CTAS) – <https://caep.ca/resources/ctas/>
- National Emergency Nurses Association (NENA) – <https://nena.ca>
- CTAS National Advisory Committee – <https://canadiem.org/ctas/>
- SFMU – Société Française de Médecine d’Urgence – <https://www.sfmou.org/>

Conclusion

Ce chapitre a posé les bases théoriques de notre étude. Il a permis de clarifier les notions clés, d’analyser les approches existantes et de souligner leurs limites dans le contexte du CHU de Béjaïa.

Les objectifs fixés ont été atteints et justifient la démarche proposée dans la suite du mémoire : une modélisation plus fine des flux et l’utilisation de la simulation pour tester des solutions concrètes.

CHAPITRE 3

Modélisation, analyse et inférence statistique du mouvement des malades

Introduction

Ce chapitre vise à modéliser et analyser les flux des patients dans le service des urgences du CHU Khellil Amrane de Béjaïa. Il fait suite à la présentation du contexte organisationnel et aborde la question des parcours réels des malades, modélisés en files d'attente.

À partir des données recueillies et de nos échanges avec le personnel lors du stage, nous avons identifié des dysfonctionnements importants dans les bureaux 1 et 4. C'est pourquoi notre étude se concentrera uniquement sur ces deux bureaux, les autres (2, 3 et 5) ne présentant pas de problèmes majeurs selon nos observations.

L'objectif est de fournir une analyse statistique des temps d'arrivée et de service, puis de proposer des modèles adaptés à chaque étape. Ce travail prépare les simulations à venir, centrées sur l'évaluation des performances dans ces deux bureaux.

3.1 Mouvements des malades

Le service des urgences du CHU se divise principalement en deux entités fonctionnelles :

- **Le service des urgences médicales,**
- **Le service des urgences chirurgicales.**

3.1.1 Étape 1 : Accueil et tri

Dès leur arrivée, les patients sont dirigés vers la **salle de tri**, où un infirmier évalue rapidement leur état à l'aide de quelques questions ciblées. Cette évaluation permet d'attribuer un **code de tri** :

- **Rouge** : urgent,
- **Orange** : moins urgent,
- **Vert** : non urgent.

Un ticket est ensuite délivré en fonction du code, ce qui détermine l'orientation du patient vers l'un des services adaptés.

3.1.2 Étape 2 : Orientation selon le tri

L'orientation du patient dépend à la fois du diagnostic et la gravité du patient.

a) Urgences médicales

- Lorsqu'un patient est classé en code rouge au moment du triage, il est immédiatement orienté vers le bureau 1 pour une prise en charge en urgence. Ce parcours s'articule en deux étapes successives : une consultation médicale suivie d'une phase de soins dans une salle dédiée.

Cependant, l'entrée dans le processus de consultation est soumise à une condition stricte : le patient ne peut être admis en consultation que si un lit et un médecin sont disponibles. Cette condition vise à garantir la fluidité du circuit et à éviter tout engorgement intermédiaire entre les deux phases.

Concrètement, cela signifie que :

- Si un lit et un médecin sont libres, le patient peut accéder à la consultation, puis être immédiatement transféré vers la salle de soins à l'issue de celle-ci.

-
- Si aucun lit ou médecin sont disponibles, le patient reste en attente en dehors de la salle de consultation.
 - Si le patient a reçu un code orange ou vert, il est orienté vers le bureau 5 pour une consultation. En fonction de la situation, il pourra également être admis en salle de soins après évaluation.

b) Urgences chirurgicales

Les patients nécessitant une prise en charge chirurgicale sont orientés vers l'un des trois bureaux spécialisés selon la nature de leur pathologie :

- **Bureau 2** : urgences de neurochirurgie,
- **Bureau 3** : urgences viscérales,
- **Bureau 4** : urgences d'orthopédie.

Ces bureaux fonctionnent comme des unités intégrées, dans lesquelles le patient suit un parcours structuré en **deux étapes successives** : une consultation spécialisée, suivie immédiatement, selon le cas, soit d'un transfert vers la salle de soins, soit d'un envoi direct vers le bloc opératoire.

Étape 1 – Consultation À son arrivée dans l'un des bureaux chirurgicaux, le patient est pris en charge par un médecin spécialiste. Cette consultation a pour but de confirmer le diagnostic initial, d'évaluer la gravité de la situation, et de décider de la prise en charge immédiate. Elle constitue la première étape du système.

Étape 2 – Soins ou intervention À l'issue de la consultation, deux parcours sont possibles :

- Si l'état du patient nécessite une prise en charge sans intervention chirurgicale, il est transféré vers la salle de soins chirurgicale. Ce transfert se fait immédiatement après la consultation, à condition qu'un lit soit disponible. L'entrée dans le système est donc soumise à la disponibilité simultanée d'un médecin et d'un lit, comme dans le bureau 1.
- Si la consultation révèle une urgence chirurgicale nécessitant une opération immédiate (fracture instable, hémorragie viscérale, compression cérébrale, etc.), le patient est dirigé **directement vers le bloc opératoire**, en coordination avec l'équipe de chirurgie.

Organisation du système Le fonctionnement de ces bureaux repose donc sur un **système global à deux phases**. La consultation constitue la première phase, suivie directement par la salle de soins, sauf en cas d'indication opératoire, où le bloc opératoire remplace la deuxième phase.

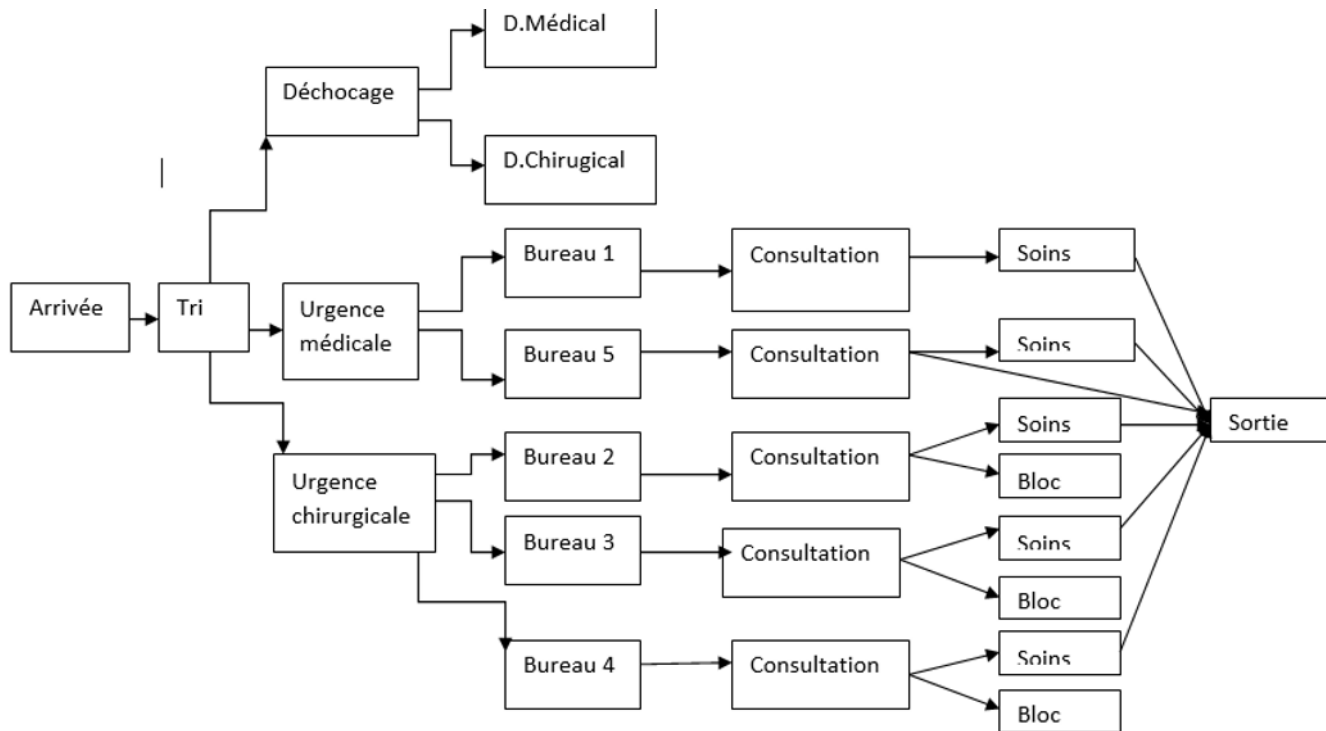


FIGURE 3.1 – Modélisation du mouvement des malades

3.2 Analyse et inférence statistique

Dans cette section, nous présentons les étapes d'analyse et inférence statistique menées afin de modéliser le fonctionnement du service des urgences à partir des données collectées.

3.2.1 Méthodologie d'ajustement des données

Cette étape consiste à ajuster les données observées en estimant les paramètres des lois de probabilité les plus adaptées. Pour cela, nous avons utilisé le langage **Python**, un

environnement de programmation largement utilisé en analyse de données et en modélisation statistique.

Python, grâce à ses nombreuses bibliothèques spécialisées (telles que `numpy`, `scipy`, `pandas` et `matplotlib`), permet de réaliser l'ensemble du processus de traitement statistique : importation des données, nettoyage, estimation des paramètres, ajustement de lois, application de tests statistiques et visualisation des résultats.

Dans notre étude, Python a été utilisé pour analyser les données collectées au sein du service des urgences. En particulier, nous avons évalué l'ajustement de différentes lois de probabilité aux temps d'arrivée des patients en utilisant le **test de Kolmogorov-Smirnov**, afin de déterminer la loi théorique la plus représentative des données empiriques.

Ce test permet de mesurer la différence maximale entre la fonction de répartition empirique (extraites des données réelles) et la fonction de répartition théorique de la loi ajustée. Si cette différence dépasse une certaine valeur critique, l'hypothèse selon laquelle les données suivent la loi considérée est rejetée.

3.2.2 Ajustement des temps d'inter-arrivée des patients

L'objectif est d'ajuster les temps d'inter-arrivée observés aux lois théoriques les plus représentatives.

3.2.2.1 Inter-arrivée a la salle de consultation bureau 1

Dans le but de modéliser les temps d'inter-arrivée des patients aux urgences, plusieurs lois de probabilité classiques ont été testées sur des données de 20 jours .

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

N°	Loi testée	KS (D)	D_α	p-value	Taille	Paramètres estimés
1	norm	0.24522	0.09319	0.0000	213	loc = 2.43, scale = 1.75
2	lognorm	0.38268	0.09319	0.0000	213	s = 17.98, loc = 1.0, scale = 0.0
3	expon	0.39906	0.09319	0.0000	213	loc = 1.0, scale = 1.43
4	weibull_min	0.39906	0.09319	0.0000	213	c = 0.52, loc = 1.0, scale = 1.59
5	beta	0.39906	0.09319	0.0000	213	a = 0.69, b = 7.83, loc = 1.0, scale = 15.0
6	gamma	0.41989	0.09319	0.0000	213	a = 0.29, loc = 1.0, scale = 1.98
7	uniform	0.58263	0.09319	0.0000	213	loc = 1.0, scale = 10.0
8	invgauss	0.60093	0.09319	0.0000	213	mu = 310746.7, loc = 1.0, scale = 0.0
9	weibull_max	0.77115	0.09319	0.0000	213	c = 0.44, loc = 11.0, scale = 1.61

TABLE 3.1 – Test de Kolmogorov–Smirnov sur les inter-arrivées ($n = 213$, $\alpha = 5\%$, $D_\alpha \approx 0,09319$)

Interprétation : Aucune des lois testées ne permet de modéliser correctement les temps d’inter-arrivée des patients, puisque les statistiques KS (D) calculées sont toutes supérieures au (D_α) tabuler de 0,09319 (pour un échantillon de 213 observations, au seuil de 5 %). Cela signifie que les écarts observés entre les distributions empiriques et théoriques sont significatifs, et qu’aucune des lois proposées ne représente fidèlement les données observées.

3.2.2.2 Inter-arrivée a la salle de consultation bureau 4

Dans le but de modéliser les temps d’inter-arrivée des patients aux urgences, plusieurs lois de probabilité classiques ont été testées sur les données de 100 jours.

N°	Loi testée	KS (D)	D_α	p-value	Taille	Paramètres estimés
1	norm	0.53040	0.06195	0.0000	482	loc = 1.01, scale = 0.1
2	lognorm	0.53040	0.06195	0.0000	482	s = 3.65, loc = 1.0, scale = 0.0
3	weibull_max	0.62557	0.06195	0.0000	482	c = 4190667851.58, loc = 57884535.57, scale = ...
4	gamma	0.79138	0.06195	0.0000	482	a = 0.05, loc = 1.0, scale = 0.48
5	invgauss	0.91272	0.06195	0.0000	482	mu = 10886.18, loc = 1.0, scale = 0.0
6	beta	0.96115	0.06195	0.0000	482	a = 0.11, b = 430.32, loc = 1.0, scale = 5.42
7	expon	0.98963	0.06195	0.0000	482	loc = 1.0, scale = 0.01
8	weibull_min	0.98963	0.06195	0.0000	482	c = 0.43, loc = 1.0, scale = 0.01
9	uniform	0.98963	0.06195	0.0000	482	loc = 1.0, scale = 1.0

TABLE 3.2 – Test de Kolmogorov–Smirnov sur les inter-arrivées ($n = 482$, $\alpha = 5\%$, $D_\alpha \approx 0,06195$)

Interprétation : Aucune des lois testées ne satisfait au critère du test de Kolmogorov-Smirnov, car dans tous les cas, la statistique KS (D) calculées est largement supérieure à la valeur critique théorique (D_α) (0.06195 pour $n = 482$ au seuil de 5%). Cela signifie qu’aucune de ces lois ne permet de modéliser de manière satisfaisante les inter-arrivées.

3.2.3 Ajustement des temps de service

L’objectif est d’ajuster les temps de services des deux bureau.

3.2.3.1 Salle de consultation bureau 1

Dans le cadre de cette étude, les données réelles sur la durée des consultations n’étaient pas disponibles de manière exhaustive, notamment en raison des restrictions d’accès aux différentes zones du service des urgences. N’ayant pas pu obtenir d’extraction automatique des temps de début et de fin de consultation, nous avons opté pour une approche fondée sur l’expertise métier.

Pour pallier ce manque, nous avons mené une série d’entretiens avec les médecins

du bureau 1, chargé de la prise en charge des patients les plus urgents (tickets rouges). Les praticiens interrogés ont estimé que la durée moyenne d'une consultation se situe généralement autour de 11 minutes, avec une variabilité possible selon la complexité du cas. Il a été mentionné que ce temps pouvait parfois descendre à 9 minutes pour des cas simples et clairs, ou s'étendre jusqu'à 13 minutes dans des situations nécessitant plus d'analyse.

Sur cette base, nous avons modélisé le temps de service en consultation à l'aide d'une loi normale centrée en 11 minutes, avec un écart type de 3 minutes, en limitant la durée minimale à 5 minutes pour éviter les valeurs aberrantes négatives. Cette approche probabiliste permet de capturer la variabilité naturelle des temps de service observés en pratique.

3.2.3.2 Salle de consultation bureau 4

Comme pour le bureau 1, les données réelles sur la durée des consultations au bureau 4 n'étaient pas disponibles de manière exhaustive. L'accès limité aux données informatisées ne nous a pas permis d'extraire automatiquement les temps de début et de fin de consultation.

Afin de surmonter cette contrainte, nous avons sollicité l'avis des médecins exerçant au bureau 4. Ces derniers ont indiqué qu'en pratique, la durée d'une consultation oscille généralement entre 10 et 15 minutes, en fonction de la gravité du cas et de la nécessité éventuelle de prise en charge immédiate en salle de soins.

Compte tenu de ces estimations, nous avons modélisé le temps de consultation à l'aide d'une loi uniforme définie sur l'intervalle [10, 15] minutes. Ce choix permet de refléter une variabilité plausible tout en restant conforme aux valeurs rapportées par les praticiens. Cette hypothèse est cohérente avec la réalité observée, dans laquelle les consultations peuvent être plus longues pour les cas graves ou vitaux nécessitant un suivi rapproché dès la fin de la consultation.

3.2.3.3 Salle de soins bureau 1

Comme pour la consultation, les données précises concernant la durée des soins prodigués en salle dédiée n'étaient pas disponibles de manière exhaustive, en raison de l'absence de suivi informatisé horodaté pour cette étape du parcours patient. Afin d'estimer au mieux ces durées, nous avons de nouveau sollicité l'expertise du personnel

médical en poste.

Les médecins ont indiqué que la durée des soins variait fortement en fonction de la gravité des cas. Deux grandes catégories ont été identifiées :

- **Les cas urgent niv 1**, qui représentent une proportion importante des patients pris en charge, nécessitent des soins dont la durée varie généralement entre 15 et 45 minutes.
- **Les cas urgent niv 2**, plus exigeants demandent une prise en charge prolongée pouvant aller de 2 à 4 heures (soit 120 à 240 minutes).

3.2.3.4 Salle de soins Bureau 4

Comme pour la consultation, les données précises concernant la durée des soins prodigués en salle dédiée au bureau 4 n'étaient pas disponibles de manière exhaustive, en raison de l'absence de suivi informatisé horodaté pour cette étape du parcours patient. Afin d'estimer au mieux ces durées, nous avons de nouveau sollicité l'expertise du personnel médical en poste.

Les médecins interrogés ont précisé que la durée des soins dépend principalement du niveau de gravité du patient. Trois grandes catégories ont été distinguées, en fonction du code couleur attribué à l'arrivée :

- **Cas non urgent (code vert)** : soins courts, généralement compris entre **10 et 15 minutes**.
- **Cas moins urgent (code orange)** : soins modérés, d'une durée estimée entre **15 et 25 minutes**.
- **Cas urgent (code rouge)** : soins plus complexes et prolongés, s'étalant généralement de **25 à 35 minutes**.

Sur la base de ces estimations, les durées de soins ont été modélisées par des lois uniformes distinctes selon la catégorie de gravité. Ce choix permet de refléter la variabilité observée tout en respectant les bornes fournies par l'expertise médicale.

3.3 Modèles de files d'attente obtenus

Nous commençons par modéliser le fonctionnement du bureau 1, qui prend en charge les cas les plus urgents au sein du service des urgences.

3.3.1 Modèle de files d'attente obtenu pour le bureau 1

À la lumière des résultats d'ajustement précédents, nous proposons de modéliser le fonctionnement du bureau 1 comme un système de file d'attente à deux phases successives, intégrées dans un modèle unique de type **G/G/2** avec deux phase pour le temps de service.

Ce modèle reflète à la fois la nature générale (non exponentielle) des arrivées et la composition en deux phases (consultation suivie immédiatement des soins) du service concerné.

Arrivées Les analyses précédentes ont montré qu'aucune loi théorique classique ne permet de représenter fidèlement les inter-arrivées. Nous supposons donc un processus d'arrivée général, sans structure probabiliste fixée (noté G).

Temps de service Chaque patient pris en charge au bureau 1 suit un parcours en deux étapes :

- **Consultation** : modélisée par une loi normale $\mathcal{N}(11, 3^2)$ minutes, selon les estimations des médecins.
- **Soins** : modélisés par une loi uniforme selon la gravité du cas :
 - cas graves : entre 15 et 45 minutes,
 - cas très graves : entre 2 et 4 heures.

Ces deux étapes sont considérées comme un unique service global.

Serveurs Deux médecins assurent la prise en charge des patients.

Modèle retenu Au regard de ces éléments, nous modélisons le bureau 1 comme une file d'attente de type **G/G/2**, avec :

- des arrivées générales (G),
- un service composé de deux phases successives aux durées non exponentielles (G),
- deux serveurs (2).

3.3.2 Modèle de files d'attente obtenu pour le bureau 4

Le bureau 4 assure la prise en charge chirurgicale des patients orientés depuis le triage, incluant des cas simples, graves et vitaux. Comme pour le bureau 1, l'objectif est de modéliser l'ensemble du processus, comprenant la consultation suivie immédiatement, le cas échéant, de soins en salle dédiée. Cette chaîne d'activités est modélisée comme un système de file d'attente à serveur unique à deux phases et 3 classes de priorité.

Arrivées L'analyse statistique réalisée sur les inter-arrivées au bureau 4, à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov, a révélé qu'aucune des lois classiques testées (exponentielle, normale, gamma, etc.) ne permet de modéliser adéquatement les données observées. Les arrivées sont donc supposées suivre un **processus général** (noté G), reflétant une variabilité irrégulière et dépendante du flux de patients à l'échelle du service.

Temps de service Le service au bureau 4 s'effectue également en deux phases consécutives :

- **Consultation** : Selon les estimations recueillies auprès des praticiens, la durée d'une consultation varie entre 10 et 15 minutes, selon la gravité du cas. Cette durée a été modélisée par une **loi uniforme** sur l'intervalle $[10, 15]$ minutes.
- **Soins** : En fonction du code couleur attribué au patient, la durée des soins est également variable :
 - Cas non urgent (code vert) : 10 à 15 minutes,
 - Cas moins urgent (code orange) : 15 à 25 minutes,
 - Cas urgent (code rouge) : 25 à 35 minutes.

Ces durées sont modélisées par des **lois uniformes distinctes** pour chaque catégorie, conformément aux estimations du personnel médical. L'étape de soins est intégrée dans le service global du système.

Serveur Le bureau 4 fonctionne avec un seul médecin, ce qui correspond à un système à un serveur. Comme pour le bureau 1, le patient ne peut accéder à la consultation que si un lit et un médecin sont disponibles. Cette contrainte garantit une continuité immédiate entre les deux phases, sans file d'attente intermédiaire, et conditionne l'entrée dans le système.

Modèle retenu Sur la base des observations et ajustements réalisés, nous modélisons le bureau 4 comme une file d'attente de type **G/G/1** à deux phases et 3 classes de patients, où :

- les arrivées sont de nature générale (G),
- le service est composé de deux phases non exponentielles : consultation (loi uniforme) puis soins (lois uniformes par gravité),
- le système dispose d'un seul serveur (1), à savoir le médecin de consultation.

Ce modèle permet de rendre compte à la fois de la variabilité des arrivées, de l'enchaînement structuré des phases et des contraintes opérationnelles qui régissent le fonctionnement du bureau 4.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit de manière détaillée le parcours des patients au sein du service des urgences du CHU Khellil Amrane de Béjaïa, en identifiant les principales étapes du processus : tri, consultation et soins. Nous avons mis en évidence les contraintes opérationnelles qui influencent l'enchaînement des phases, notamment la disponibilité des lits et du personnel médical.

L'analyse statistique des données collectées a permis d'évaluer l'adéquation de plusieurs lois de probabilité aux temps d'inter-arrivée et de service. Les tests réalisés ont montré qu'aucune loi classique ne permettait d'ajuster correctement les inter-arrivées, ce qui justifie le recours à des distributions générales (**G**) pour modéliser ces flux. De même, les temps de service ont été modélisés à partir des estimations du personnel, à l'aide de lois normales ou uniformes, selon la nature et la gravité du cas.

Sur la base de ces éléments, nous avons proposé deux modèles de files d'attente :

- Le **bureau 1** a été modélisé par un système **G/G/2**, représentant l'enchaînement de la consultation et des soins, avec deux médecins et une contrainte sur la disponibilité des lits et du médecin.
- Le **bureau 4** a été représenté par un modèle **G/G/1**, correspondant à une file à un seul serveur, également structuré en deux phases dépendantes (consultation suivie de soins).

Ces modèles tiennent compte à la fois des caractéristiques statistiques observées et des spécificités organisationnelles du service. Ils constituent une base solide pour les simulations à venir, qui viseront à évaluer les performances du système actuel.

Évaluation des performances et amélioration

Introduction

Ce chapitre vise à évaluer les performances actuelles du service des urgences du CHU Khellil Amrane à l'aide d'un simulateur développé en Python. Il s'inscrit dans la continuité du travail de modélisation du chapitre précédent. Nous cherchons à identifier les principaux blocages (attente, saturation) et à tester des scénarios d'amélioration, comme l'ajout de médecins ou de lits. Après une brève présentation du simulateur et de la méthodologie, nous analyserons les résultats et leurs implications pour une meilleure organisation du service.

4.1 Présentation du simulateur et méthodologie de simulation

Dans le but de mieux comprendre le fonctionnement du service des urgences, un simulateur a été développé. Cet outil permet de reproduire le parcours des patients en tenant compte des principales contraintes du système. Il sert à analyser les performances actuelles et à tester plusieurs scénarios d'amélioration.

4.1.1 Description du simulateur développé en Python

Dans le cadre de ce travail, nous avons développé un simulateur personnalisé en langage Python, afin de modéliser avec précision le fonctionnement du service des urgences. Ce choix repose sur la flexibilité de Python, la richesse de ses bibliothèques scientifiques et la possibilité de modéliser finement les règles de fonctionnement observées sur le terrain (blocages, ressources partagées, files d'attente conditionnelles, etc.).

Le simulateur a pour objectif de reproduire le parcours des patients depuis leur arrivée jusqu'à la fin des soins, en tenant compte :

- des flux journaliers d'arrivée,
- des niveaux de gravité,
- des contraintes de disponibilité des médecins et des lits,
- des temps de consultation et de soins.

4.1.2 Architecture technique

L'outil est conçu en s'appuyant sur les bibliothèques suivantes :

- pandas et numpy pour le traitement des données et les générateurs aléatoires,
- matplotlib et seaborn pour la visualisation des résultats,
- SimPy pour la simulation à événements discrets des files d'attente.

Chaque patient est simulé comme un agent individuel possédant :

- une heure d'arrivée,
- un niveau de gravité (simple, grave, vital),
- un temps de consultation et un temps de soins,
- des attributs d'attente, de blocage ou de saturation enregistrés tout au long du processus.

4.1.3 Paramètres du modèle

Les valeurs paramétriques utilisées sont issues de nos observations et de l'expertise du personnel médical. Elles sont les suivantes :

-
- **Nombre de médecins**
 - **Nombre de lits**
 - **Nombre de patients par jour**
 - **Répartition des patients**
 - **Temps de consultation**
 - **Temps de soins**

4.1.4 Étapes de la simulation

La simulation reproduit les événements selon une logique de traitement patient par patient. Voici les principales étapes simulées pour chaque individu :

1. les heures d'arrivée des patients sont extraites directement d'un fichier Excel contenant les données réelles, cette approche permet de conserver une base cohérente et identique pour toutes les configurations testées.
2. Attribution d'un niveau de gravité .
3. Mise en attente si aucun médecin ou aucun lit n'est disponible.
4. Début de consultation si les deux ressources sont libres.
5. Libération du médecin (immédiate ou après les soins selon le cas).
6. Début des soins sur lit réservé à l'avance.
7. Libération du lit après la fin des soins.
8. Enregistrement des indicateurs (attente, blocage...).

Chaque scénario est simulé sur 100 jours pour garantir la stabilité des résultats statistiques, et permet d'évaluer l'impact de différentes configurations (variation du nombre de médecins, de lits).

4.1.5 Objectifs du simulateur

Le simulateur a été conçu dans le but de :

- Détermine les performances actuelles du service (temps d'attente, taux de saturation ...).

- Identifier les situations critiques de blocage.
- Tester l'effet de modifications structurelles (ajout de lits, renfort médical).
- Servir de base à une démarche d'optimisation opérationnelle.

Cette approche par simulation, bien que simplifiée, permet de représenter de manière réaliste la complexité du système d'urgences hospitalières, et constitue un outil d'aide à la décision performant et adaptable.

4.2 L'évaluation des performances de l'état actuel

L'analyse des performances du système dans sa configuration actuelle permet de poser un point de référence indispensable. Elle permet d'identifier les limites opérationnelles liées à la capacité d'accueil et à la disponibilité du personnel.

4.2.1 L'évaluation des performances du bureau 1

Il est important d'évaluer les performances du bureau 1 dans son état actuel, à savoir avec 2 médecins et 9 lits. Cette première analyse permet de poser un point de référence pour comparer les résultats des scénarios d'amélioration ultérieurs.

Indicateur	Valeur
Nombre de médecins	2
Nombre de lits	9
Nombre total de patients simulés	3376
Temps d'attente moyen	23,64 minutes
Nombre de jours saturés (sur 100)	97
Pourcentage de patients avec attente > 15 minutes	41,11 %

TABLE 4.1 – Résultats de la simulation – Scénario : 2 médecins, 9 lits

Interprétation des résultats du scénario actuel Le scénario simulant l'état actuel du service, avec 2 médecins et 9 lits, met en évidence plusieurs signes de saturation du système.

- Le **temps d'attente moyen** est de 23,64 minutes, ce qui dépasse le seuil généralement toléré pour des urgences vitales. Ce délai peut compromettre la prise en charge rapide des cas les plus graves.

- 41,11 % des patients ont connu une attente supérieure à 15 minutes. Cela traduit un engorgement fréquent des ressources, et confirme que près de la moitié des patients sont impactés par une file d'attente importante.
- Le service est considéré comme saturé pendant 97 jours sur 100, ce qui montre une situation quasi permanente de tension sur les ressources disponibles, en particulier les lits.
- Le nombre total de patients simulés sur la période est de 3376, ce qui correspond à un volume réaliste, mais difficile à absorber avec les capacités actuelles.

Ces résultats suggèrent que la configuration actuelle ne permet pas d'absorber efficacement la charge de patients, et que le système est régulièrement en situation de blocage. Il devient donc nécessaire d'envisager des scénarios alternatifs pour améliorer la fluidité du parcours patient, notamment par l'ajout de médecins ou de lits. La section suivante explore différentes options d'optimisation à cet effet.

4.2.2 Analyse comparative et optimisation du système

L'objectif est d'identifier une configuration optimale du service des urgences, en testant différentes combinaisons du nombre de médecins et de lits disponibles. Pour chaque scénario, nous évaluons les indicateurs clés de performance, tels que le temps d'attente moyen, le taux de saturation, et le pourcentage de patients en attente prolongée.

4.2.2.1 Variations du nombre de médecins

Dans un premier temps, nous avons fait varier le nombre de médecins disponibles (de 2 à 4), tout en conservant le nombre de lits à 9, valeur actuelle. Cette démarche vise à observer si un renfort médical seul permet de fluidifier le système.

Médecins	Patients	Attente (min)	Jours saturés	Attente > 15 min
2	3376	23,64	97	41,11 %
3	3376	18,19	88	30,12 %
4	3376	16,91	88	28,29 %

TABLE 4.2 – Résultats avec 9 lits et variation du nombre de médecins

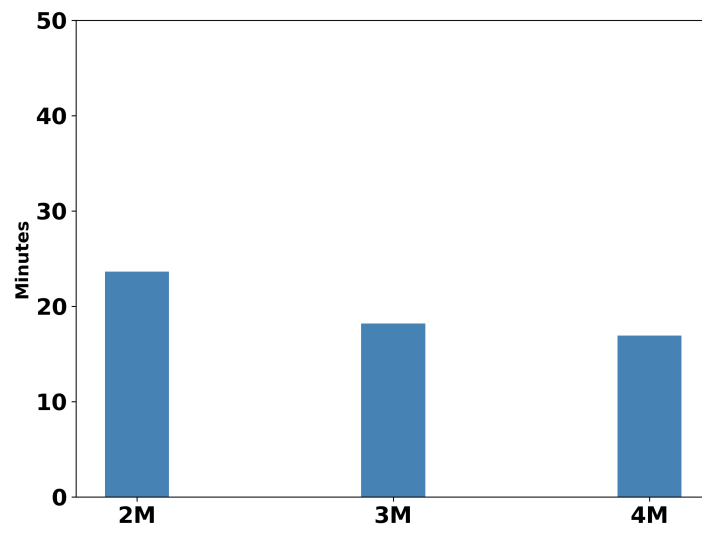


FIGURE 4.1 – Temps moyen d'attente

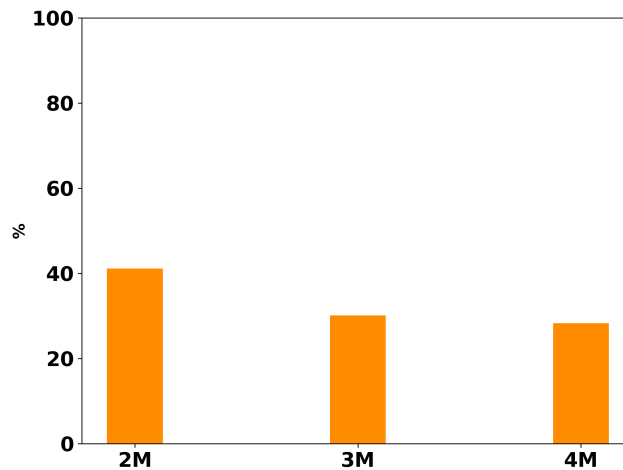


FIGURE 4.2 – pourcentage de patients avec une attente supérieure au seuil critique

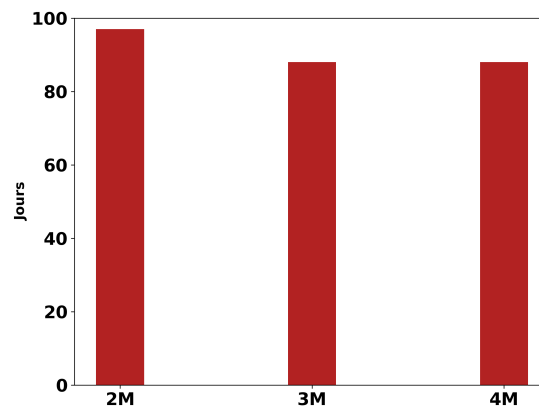


FIGURE 4.3 – Nombre de journées saturés

Interprétation des résultats – Variation du nombre de médecins (9 lits fixes)

Les résultats de simulation obtenus en faisant varier uniquement le nombre de médecins, tout en maintenant le nombre de lits constant à 9, montrent une amélioration modérée du temps d'attente moyen (de 23,64 à 16,91 minutes). Cependant, le nombre de jours saturés reste très élevé, atteignant même 88 jours sur 100 et le pourcentage de patient qui ont attendu plus de 15 min est assez important.

Ce phénomène s'explique par une dynamique interne du système : l'ajout de médecins augmente la rapidité des consultations, ce qui accélère les arrivées

vers la salle de soins. Or, celle-ci reste limitée à 9 lits. Cette situation crée une congestion plus rapide de la salle de soins, et génère ainsi une saturation accrue, car les lits ne se libèrent pas assez vite pour absorber ce flux plus soutenu.

Autrement dit, l'ajout de médecins sans augmentation parallèle de la capacité de soins engendre un déplacement du goulot d'étranglement : ce n'est plus la file d'attente avant consultation qui ralentit le système, mais l'impossibilité d'accéder aux lits après la consultation.

Ces résultats montrent que l'ajustement du seul nombre de médecins n'est pas suffisant pour désengorger durablement le service. Une approche combinée avec l'augmentation du nombre de lits est indispensable.

4.2.2.2 Variation du nombre de lits avec médecins fixes

Dans cette phase, le nombre de médecins est fixé à deux, et nous faisons varier progressivement le nombre de lits, afin d'évaluer son impact sur la performance du service.

Lits	Patients	Attente (min)	Jours saturés	% d'attente au-dessus de 15 min
9	3376	23,64	97	41,11 %
11	3376	13,41	88	29,65 %
12	3376	11,37	87	26,84 %

TABLE 4.3 – Résultats – Variation du nombre de lits avec 2 médecins

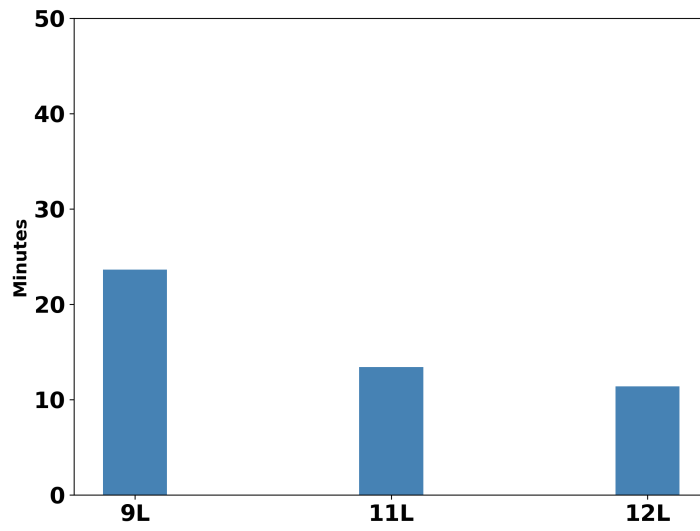


FIGURE 4.4 – Temps moyen d'attente

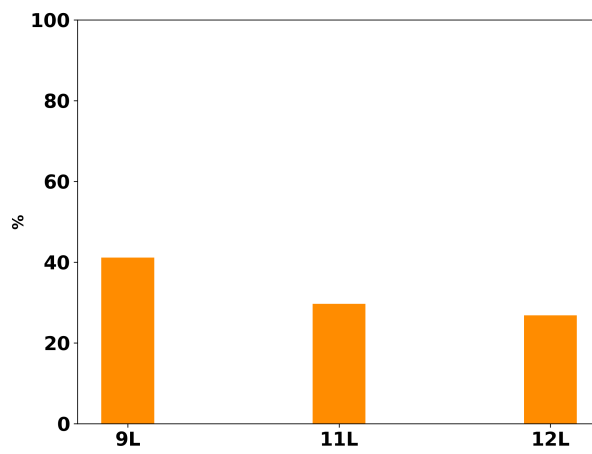


FIGURE 4.5 – pourcentage de patients avec une attente supérieure au seuil critique

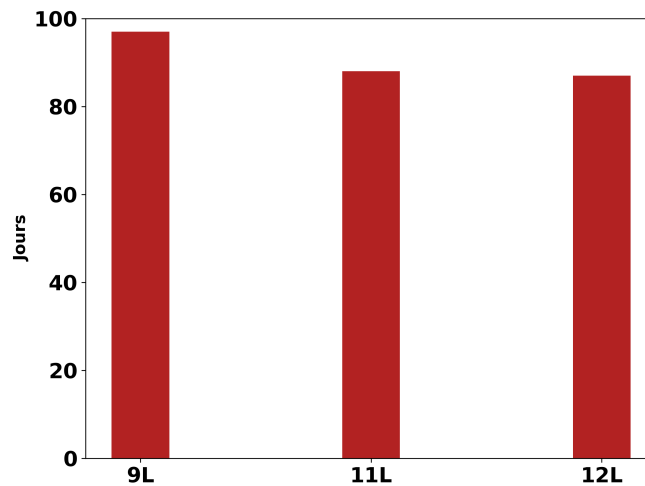


FIGURE 4.6 – Nombre de journées saturées

Interprétation des résultats – Variation du nombre de lits (2 médecins fixes) :

- À 12 lits, une amélioration notable est observée : le temps d'attente moyen diminue jusqu'à 11,37 mais le nombre de jours saturés et le pourcentage de patients ayant attendu plus de 15 min est assez important.

Ces résultats montrent que l'ajustement seul du nombre de lits n'est pas suffisant pour désengorger durablement le service.

Il n'a pas été jugé pertinent de tester des scénarios avec 13, 14 ou 15 lits tout en maintenant seulement deux médecins, car une telle configuration conduirait à une surcharge du personnel médical. En effet, même si la capacité d'accueil serait théoriquement augmentée, le rythme de prise en charge deviendrait insoutenable pour un effectif médical constant. Cela créerait un déséquilibre dans le système, déplaçant la contrainte du côté médical. Pour garantir une prise en charge réaliste et soutenable, le nombre de lits doit rester cohérent avec la disponibilité des médecins

4.2.2.3 Variation du nombre de médecins et le nombre de lits

Dans cette dernière phase de simulation, nous avons combiné l'augmentation du nombre de lits avec celle du nombre de médecins, afin de rechercher une configuration équilibrée permettant de désaturer durablement le service.

Médecins	Lits	Attente (min)	Jours saturés	attente > 15 min
2	9	23,64	97	41,11 %
2	11	13,41	88	29,65 %
2	12	11,37	87	26,84 %
3	12	5,37	50	10,90 %
3	14	3,46	36	6,64 %
3	15	3,08	20	5,81 %

TABLE 4.4 – Résultats – Variation conjointe du nombre de médecins et de lits

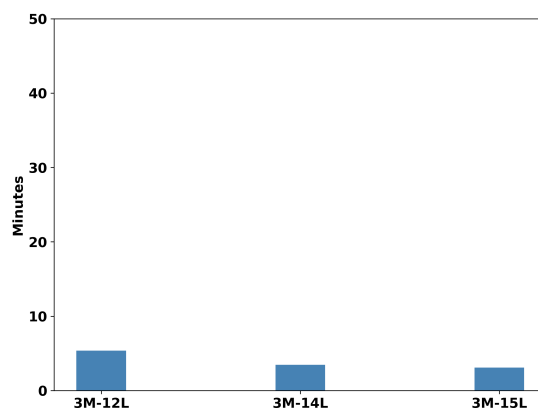


FIGURE 4.7 – Temps moyen d'attente

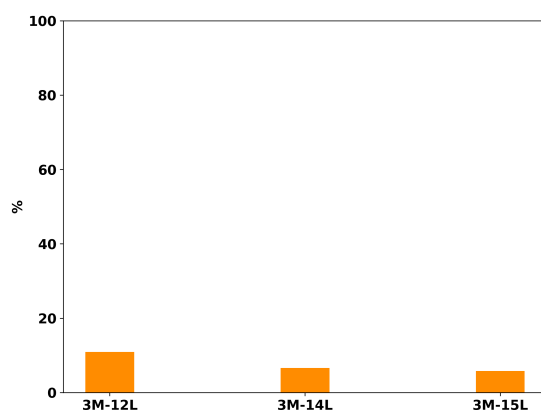


FIGURE 4.8 – pourcentage de patients avec un temps d’attente supérieure au seuil critique

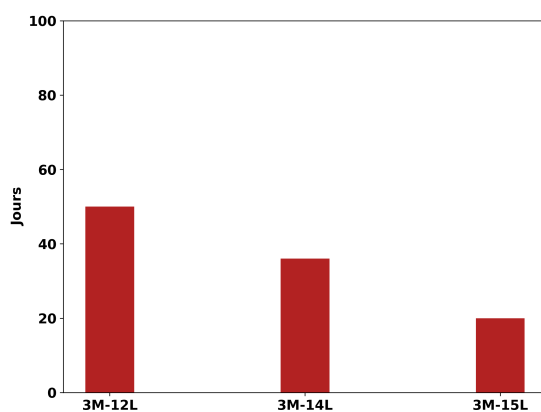


FIGURE 4.9 – Nombre de journées saturés

Interprétation des résultats – Variation du nombre de médecins et le nombre de lits :

L’ajout de médecin couplé à l’ajout de 2 à 6 lits a eu un impact significatif. Le temps d’attente moyen est passé de 11,37 minutes (2 médecins, 12 lits) à seulement 5,37 minutes avec 3 médecins et 12 lits , réduire le nombre de journées saturés de 87 à 50 et le pourcentage de patients ayant attendu plus de 15 min de 26,84 % à 10,90 % . En effet, l’augmentation du nombre de médecins permet d’accélérer le rythme des consultations, ce qui réduit l’engorgement en amont.

Cependant, cette accélération du flux crée un effet secondaire : les patients accèdent

plus vite à la salle de soins, qui risque alors de saturer plus rapidement . C'est pourquoi il est nécessaire de coupler cette évolution avec une augmentation parallèle du nombre de lits. En passant à 14 lits, le système devient beaucoup plus fluide : le temps d'attente diminue à 3,46 minutes, et le nombre de jours saturés n'est plus que de 36. À 15 lits, ces indicateurs s'améliorent encore légèrement, avec 3,08 minutes d'attente moyenne, 5,81 % des patients dépassant 15 minutes, et seulement 20 jours saturés sur 100.

Remarques sur les jours saturés restants Malgré la très nette amélioration observée, le système affiche encore 20 jours de saturation sur 100, même dans scénario optimal. Ce phénomène peut s'expliquer par des aléas non maîtrisables dans la réalité : retards de médecins, afflux massif de patients à la suite d'un accident collectif, événements sportifs, ou surcharge ponctuelle du service (par exemple, un match de football ou une fête locale entraînant une hausse inhabituelle de fréquentation). Ces situations exceptionnelles montrent qu'aucun système n'est totalement exempt de saturation, mais qu'une bonne configuration permet de les limiter fortement.

Ces résultats nous permettent d'identifier le scénario optimal : 3 médecins et 15 lits. Ce scénario offre un excellent compromis entre disponibilité des ressources et qualité de service.

Comparaison avec l'état actuel

Rappelons que dans la configuration actuelle (2 médecins, 9 lits), le service présentait un temps d'attente moyen de 23,64 minutes, un taux de saturation de 97 jours sur 100, et 41,11 % des patients attendaient plus de 15 minutes. En comparaison, le scénario optimal (3 médecins, 15 lits) affiche :

- Une réduction du temps d'attente moyen à 3,08.
- Une réduction du nombre de jours saturés à 20.
- Une réduction du pourcentage de patients ayant attendu plus de 15 minutes à 5,81.

Cette amélioration substantielle témoigne de l'efficacité du scénario proposé pour désengorger le service d'urgences et améliorer significativement la prise en charge des patients.

4.2.3 Évaluation des performances – Bureau 4 (chirurgie orthopédique)

Cette partie présente l'évaluation du bureau 4 dans sa configuration actuelle.

4.2.4 État actuel – Bureau 4

Dans cette simulation, le bureau 4, composé d'un médecin et de trois lits, prend en charge les cas simples, graves et vitaux. Nous avons évalué le temps d'attente moyen pour chaque catégorie, ainsi que le pourcentage de patients dépassant un seuil critique qui est 15 min pour les cas vitaux, 30 min pour les cas grave et 60 min pour les cas simple. Les jours de saturation ont aussi été identifiés pour juger la réactivité du service.

Gravité	Temps moyen d'attente (min)	% au-dessus du seuil critique	Nombre de patients bloqués
Vitale	69.9	78.1%	354
Grave	76.9	75.8%	521
Simple	82.2	56.6%	727
Jours saturés : 100			
Nombre total de patients simulés : 2424			

TABLE 4.5 – Statistiques des performances de l'état actuel du bureau 4

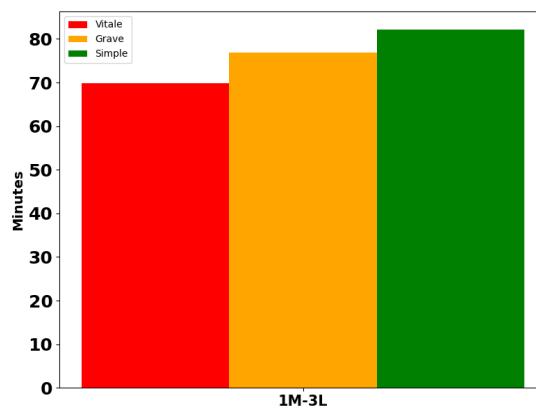


FIGURE 4.10 – Temps d'attente moyen

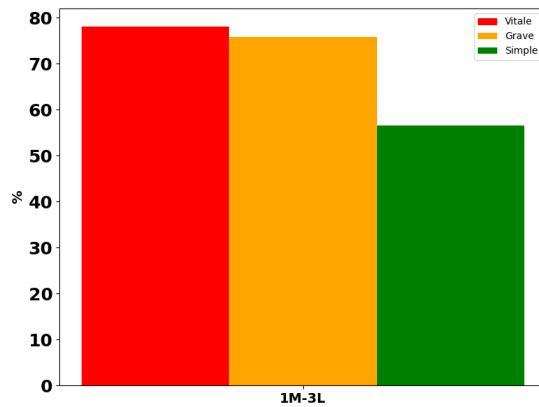


FIGURE 4.11 – pourcentage de patients ayant dépassé le seuil

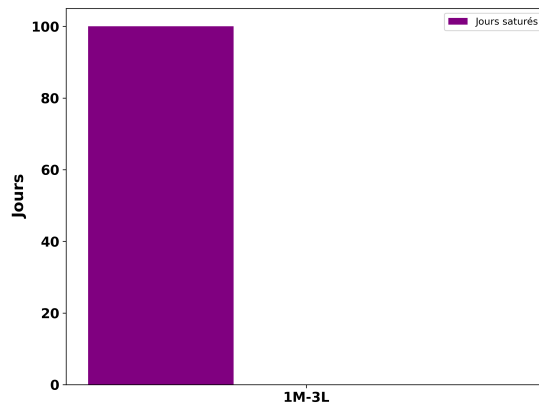


FIGURE 4.12 – Nombre de journées saturées

Interprétation :

L'analyse de ces résultats montre que les temps d'attente sont globalement excessifs par rapport aux seuils jugés acceptables : 15 minutes pour les cas vitaux, 30 minutes pour les cas graves, et 1 heure pour les cas simples. Or, 78,1 % des patients vitaux, 75,8 % des graves et 56,6 % des simples ont dépassé ces seuils, ce qui est alarmant. Le nombre total de patients bloqués atteint 1 602, soit environ 66,08 % des 2 424 patients simulés. Cela confirme une saturation fréquente du service et une prise en charge loin d'être optimale.

4.2.5 Variations du nombre de lits

Avant de tester l'impact du personnel médical, nous avons commencé par faire varier le nombre de lits disponibles au bureau 4. L'objectif était de voir si une augmentation des ressources matérielles, à effectif médical constant, pouvait améliorer les performances du service.

Configuration	Gravité	Temps moyen (min)	% > seuil critique	Patients bloqués
3 Lits	Vitale	69,9	78,1 %	354
	Grave	76,9	75,8 %	521
	Simple	82,2	56,6 %	727
4 Lits	Vitale	69,6	77,9 %	353
	Grave	76,6	75,1 %	520
	Simple	81,3	55,2 %	709
5 Lits	Vitale	69,4	77,7 %	352
	Grave	76,3	74,7 %	515
	Simple	80,1	55,0 %	700
Jours saturés : 100 Patients simulés : 2 424				

TABLE 4.6 – Impact du nombre de lits sur les performances (1 médecin)

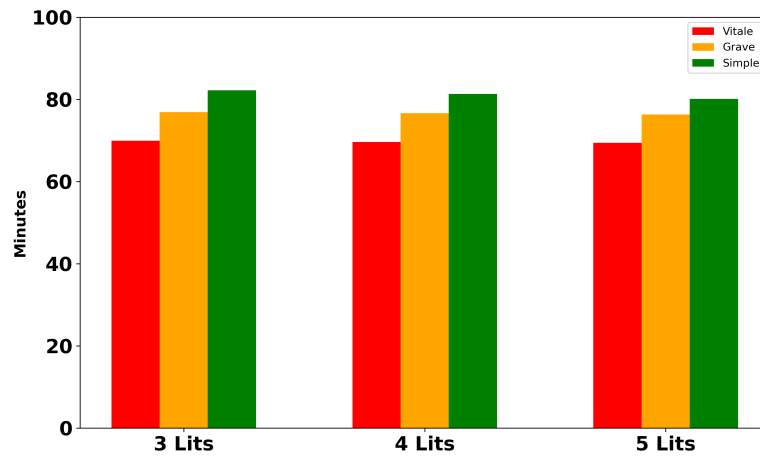


FIGURE 4.13 – Temps moyen d’attente selon les lits (1 médecin)



FIGURE 4.14 – pourcentage de patients au-dessus du seuil critique selon les lits (1 médecin)

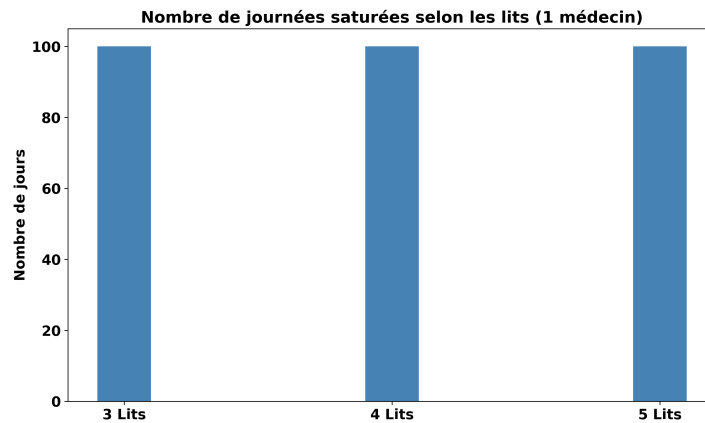


FIGURE 4.15 – Nombre de journées saturées selon les lits (1 médecin)

Interpretation :

On observe à travers ce tableau et les figures que l’augmentation du nombre de lits (de 3 à 5), tout en maintenant un seul médecin, n’apporte presque aucun gain significatif en termes de performance.

Le temps moyen d’attente reste pratiquement inchangé pour toutes les catégories de gravité, et les pourcentages de patients dépassant les seuils critiques demeurent très élevés.

Par exemple, pour les cas vitaux, le pourcentage de patients ayant attendu plus de 15 minutes reste autour de 78 % malgré l’ajout de lits.

Le nombre de patients bloqués reste également très élevé, que ce soit pour les cas vitaux, graves ou simples, et le système atteint un niveau de saturation maximal avec 100 jours saturés sur 100. Cela montre que l’ajout de lits ne suffit pas à améliorer la fluidité du service si le nombre de médecins reste limité. Le principal facteur de blocage semble donc lié à la disponibilité des médecins plutôt qu’à la capacité d’accueil en lits.

4.2.6 Variations du nombre de médecins

Cette fois nous analysons l’effet de l’augmentation du nombre de médecins sur les performances du service.

L’objectif est d’évaluer si une amélioration des ressources humaines peut réduire les temps d’attente et désengorger le système, en comparaison avec l’impact plus limité observé lors de l’augmentation du nombre de lits.

Configuration	Gravité	Temps moyen (min)	% au-dessus du seuil critique	Patients bloqués
Médecins : 2, Lits : 3	Vitale	11.0	23.0%	104
	Grave	12.0	12.8%	88
	Simple	12.4	2.6%	33
Médecins : 3, Lits : 3	Vitale	6.2	10.2%	46
	Grave	6.4	4.5%	31
	Simple	6.6	0.3%	4
Jours saturés : 46 (2 médecins) 19 (3 médecins)				
Nombre total de patients simulés : 2424				

TABLE 4.7 – Effet de l’augmentation du nombre de médecins (lits fixés à 3)

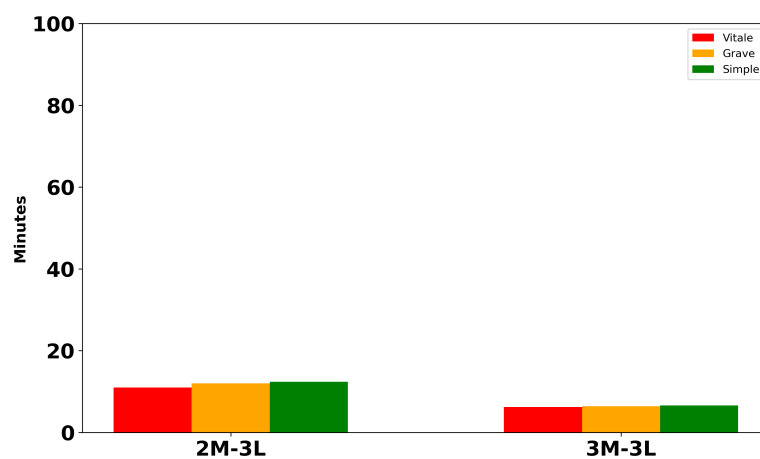


FIGURE 4.16 – Temps moyen d’attente

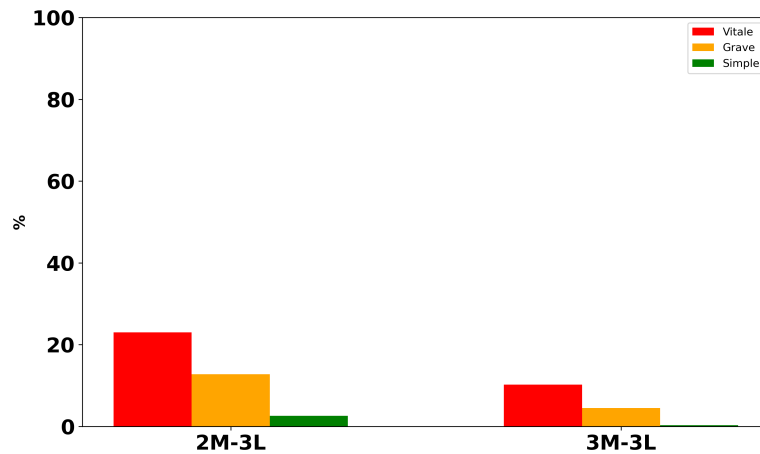


FIGURE 4.17 – pourcentage de patients au-dessus du seuil critique

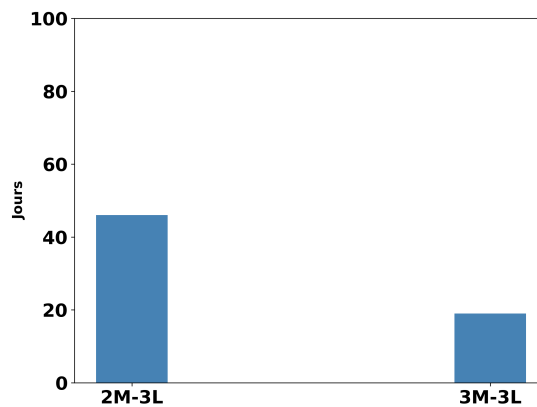


FIGURE 4.18 – Nombre de journées saturées

Interprétation :

Avec deux médecins, le service atteint déjà des performances très acceptables. Le temps moyen d’attente pour les cas vitaux diminue à 11 minutes, avec seulement 23 % de dépassement du seuil critique. Le nombre de jours saturés diminue fortement, passant de 100 à 46. Le nombre de patients bloqués reste modéré (225 sur 2424, soit moins de 10 %).

En passant à trois médecins, les performances s’améliorent encore davantage. Les temps moyens deviennent très faibles (autour de 6 minutes), les dépassements de seuils deviennent quasi négligeables, et les jours saturés sont réduits à seulement 19. Par ailleurs, le nombre total de patients bloqués chute à 81, ce qui représente à peine 3 %

des patients simulés un niveau tout à fait négligeable.

Le choix entre ces deux configurations dépend des moyens disponibles. Recruter un deuxième médecin permet déjà d'obtenir un bon équilibre entre performance et coût. Recruter un troisième médecin permet de tendre vers des performances optimales, mais ce choix doit être pesé en fonction des ressources humaines disponibles et des priorités de l'établissement.

Conclusion

Ce chapitre a permis d'analyser le fonctionnement réel du service via simulation. Les résultats confirment des problèmes de saturation et de longues attentes, notamment aux bureaux 1 et 4. Les scénarios testés montrent que certaines modifications (plus de lits ou de médecins) améliorent significativement la situation. Malgré certaines limites, ces simulations offrent une base concrète pour des recommandations pratiques.

Conclusion générale

Ce mémoire s'est intéressé à l'analyse et à l'optimisation des flux de patients dans le service des urgences du CHU Khellil Amrane de Béjaïa. Face aux défis croissants auxquels sont confrontées les structures hospitalières notamment la saturation, les temps d'attente prolongés et la gestion complexe des ressources, nous avons cherché à proposer une approche rigoureuse, fondée sur la modélisation, la simulation et l'analyse statistique, afin de mieux comprendre les dynamiques internes du service et d'identifier des leviers d'amélioration.

Dans un premier temps, nous avons dressé un état des lieux détaillé de l'organisation du service des urgences, en identifiant ses principales unités (bureaux de tri, de consultation, salles de soins) et en mettant en évidence les problèmes récurrents. Ensuite, nous avons construit des modèles de files d'attente adaptés aux réalités du terrain, en tenant compte de la variabilité des flux et de la gravité des cas. La simulation développée en Python nous a permis d'évaluer le système actuel, puis de tester plusieurs scénarios d'amélioration.

Les résultats obtenus montrent que certaines configurations permettent de réduire significativement les temps d'attente, de limiter la saturation des lits et d'améliorer la fluidité globale du parcours du patient. Ainsi, les objectifs initiaux de notre travail ont été atteints : nous avons pu analyser l'état actuel du système, proposer une modélisation réaliste, évaluer les performances via la simulation, et formuler des recommandations concrètes.

Sur le plan théorique, notre étude contribue à enrichir la littérature sur l'application des files d'attente et de la simulation à événements discrets dans le domaine hospitalier, en particulier dans le contexte algérien. D'un point de vue pratique, elle fournit un cadre de réflexion et des outils que les décideurs peuvent mobiliser pour améliorer l'organisation des urgences, même avec des ressources limitées.

Toutefois, notre travail présente certaines limitations. L'absence de données informatisées complètes nous a contraints à recourir à des estimations expertes pour certains paramètres. De plus, la simulation repose sur des hypothèses simplificatrices (lois de service, comportement des patients, etc.) qui, bien que réalistes, ne capturent pas toute la complexité du réel.

Ces limites ouvrent la voie à plusieurs perspectives de recherche. Il serait pertinent d'élargir l'analyse à d'autres bureaux du service ou à d'autres hôpitaux, de développer des modèles plus complexes (par exemple multi-agents), ou encore d'intégrer des aspects médico-économiques.

En conclusion, ce travail a permis de démontrer que la combinaison d'analyses statistiques, de modélisation et de simulation constitue une approche puissante pour améliorer la gestion des urgences hospitalières. Il apporte une contribution concrète à la fois au domaine académique et au terrain, en proposant des solutions réalistes face à un enjeu de santé publique majeur.

Bibliographie

- [1] D. Aissani. Évaluation des performances des systèmes. Cour Master 2 , Department Recherche Opérationnelle, 2024.
- [2] Hôpital Khellil Amrane. Documents internes de l'hôpital khellil amrane, 2024.
- [3] V. Augusto. *Modélisation, analyse et pilotage de flux en milieu hospitalier à l'aide d'UML et des réseaux de petri*. PhD thesis, 2008. Thèse de doctorat, École nationale supérieure des mines Sainte-Etienne.
- [4] K. Bouchebah. Cour simulation, département recherche opérationnelle, licence 3, 2022.
- [5] A. Ehas. Évaluation des performances hospitalières : analyse des lacunes dans la gestion des ressources. *Journal of Healthcare Management*, 2006. Étude menée au CHU Khellil Amrane.
- [6] A. ElOualidi, S. Janah, and R. Belaidi. Modélisation et analyse des performances d'un service hospitalier par la théorie des files d'attente, 2010. *Journal of Applied Mathematics*, 3(2), 45-60.
- [7] Institute for Healthcare Improvement. *Achieving hospital-wide patient flow : Advancing patient-centered care and hospital operations* (2nd ed.). 2020.
- [8] A. Geoffroy. *Optimisation médico-économique et organisation des services d'urgences hospitalières*. PhD thesis, 2012. Thèse de doctorat.

- [9] J. Jlassi. *Amélioration de la performance par la modélisation des flux logistiques des patients dans un service d'urgence hospitalier*. Thèse de doctorat.
- [10] K. Jlassi. Modélisation des urgences chirurgicales par files d'attente prioritaires, 2009. *Revue d'Informatique Médicale*, 12(3), 112-125.
- [11] S. Oudina M. Baalla. Simulation du mouvement des malades au niveau des urgences à l'hôpital khellil amrane de béjaïa. Mémoire de master, Université de Béjaïa, 2016.
- [12] L. Wang. A petri net ans UML-based approach for hospital system modeling and capacity evaluation. *Journal of Medical systems*, 2008.
- [13] A. Zerouk. Modélisation du service des urgences : Cas de l'hôpital de tlemcen, 2022. Mémoire de Master, Université de Tlemcen.

Résumé :

Ce mémoire étudie le service des urgences du CHU de Béjaïa, marqué par une forte affluence et des ressources limitées. En s'appuyant sur une modélisation en files d'attente et une simulation en Python, il évalue les performances des bureaux 1 et 4. Différents scénarios d'amélioration sont testés en variant médecins et lits. Les résultats montrent qu'une meilleure répartition des ressources réduit nettement les temps d'attente et les saturations. L'outil développé offre un appui concret à la décision, malgré certaines limites techniques.

Mots clés :

urgences hospitalières, simulation, files d'attente, triage, saturation, CHU Béjaïa.

Abstract :

This thesis examines the emergency department of CHU Béjaïa, facing high patient inflow and limited resources. Using queueing models, and a Python-based simulation, it evaluates performance at critical offices 1 and 4. Scenarios varying staff and beds were tested. Results show that better resource allocation significantly lowers wait times and overload. Despite some technical limits, the developed tool provides practical decision support.

Keywords :

hospital emergency, simulation, queueing systems, triage, saturation, CHU Béjaïa.
