



République Algérienne Démocratique et
Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de
Bordj Bou Arréridj



Mémoire de Fin d'Études

Préparé par :

Silya Ouidir et Fatiha Kraifa

Pour l'obtention du diplôme de

Master

Faculté des Mathématiques et de l'Informatique
Département de Mathématiques

Filière : Mathématiques

Spécialité : Méthodes et Outils pour la Recherche
Opérationnelle

**Allocation efficace des ressources
hospitalières à l'aide de techniques
d'optimisation
Étude de cas : Hôpital Bouzidi
Lakhdar**



Soutenu publiquement le 12 juin 2025 devant le jury composé de :

.....
M. Salah Maache
.....

MCA
MCB
MAA

Président du jury
Encadreur
Examinateur

Année universitaire

2024 / 2025

Remerciements

Je remercie Dieu Tout-Puissant, en premier et dernier, pour son aide, pour la force, la patience et la détermination qu'il nous a accordées afin de mener à bien ce parcours scientifique et d'achever ce travail modeste.

J'adresse mes plus sincères remerciements et ma profonde gratitude à notre honorable enseignant **Monsieur Maach Salah**, professeur à l'Université de Bordj Bou Arreridj, pour le soutien qu'il nous a apporté, ses précieuses orientations, ainsi que ses conseils issus de sa riche expérience scientifique.

Je le remercie particulièrement pour m'avoir aidé à structurer et développer mes idées.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à **Madame la cheffe des médecins de l'hôpital Bouzidi Lakhdar**, pour son accueil chaleureux et l'intérêt qu'elle a porté à ce travail.

Je remercie vivement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce mémoire, et pour l'intérêt et l'estime qu'ils lui ont accordés.

Enfin, j'exprime toute ma gratitude à l'ensemble des enseignants du **Département de Recherche Opérationnelle de l'Université de Bordj Bou Arreridj**.

Dédicace

À Silya,

Pour chaque nuit blanche, chaque doute, chaque pas hésitant,
pour la persévérance silencieuse et la force intérieure,
pour avoir cru en mes rêves malgré les tempêtes,
je me l'offre ,avec respect,fierté et gratitude.

Pour moi,et grâce à moi.

À ma mère ,

L'amour de ma vie,la lumière pour laquelle je vis .

À mon père ,

Pour son amour et son soutien constant.

À mon frère Mouhamad ,

Pour être mon pilier et mon ami fidèle.

À ma soeur Sabrina ,

Mon amour et ma tendre complice.

À mes amies,

Miro, Fadouche, et Basma,merci pour tout.

À ma camarade,

Fatiha merci.

Silya Ouidir

Dédicace

Je veux partager les plus beaux moments avec ceux que j'aime, et je dédie ce travail à :

À mon cher père ,

À celui qui m'a appris la patience et m'a donné sa vie pour créer mon avenir, à celui qui a été mon soutien à chaque instant, je te dédie le fruit de cet humble effort en signe de gratitude et d'amour indescriptible.

À ma chère mère,

À celle qui a été la source de tendresse et la compagne du cœur à toutes les étapes, à celle qui m'a comblé d'attentions et s'est tenue à mes côtés avec ses prières. et qui s'est tenue à mes côtés par ses prières et ses larmes, je te donne le fruit de cet effort en témoignage d'un amour et d'une gratitude indescriptibles.

À ma chère grand-mère ,

Tes prières ont été la lumière qui m'a accompagné sur mon chemin, que Dieu te bénisse.

À mes chers frères ,

Hicham Youssef Akram, vous êtes le soutien dans les moments difficiles et la joie dans les moments de réussite, que Dieu vous protège.

À mes chères sœurs ,

Assia, Hadil, mes amies de toujours, que Dieu vous protège.

À ma collègue Silya ouidir,

Merci pour votre esprit de coopération et de persévérance, travailler avec vous a été une expérience inoubliable, et je vous souhaite le meilleur dans votre carrière.

À mes chers amis ,

Fadia, Houda, Farah, Chaima, Fatima, que Dieu vous bénisse. À tous ceux qui ont traversé ma vie et laissé un bon impact, je dédie ce travail, car il est le fruit d'un effort dont la beauté n'est pas complète sans votre participation.

Fatiha Kraifa

Résumé

Cette recherche aborde l'un des problèmes opérationnels les plus importants, à savoir la question de l'allocation des ressources dans les services d'urgence. Ce défi consiste à attribuer les ressources en fonction des besoins en tenant compte de la gravité des patients. L'objectif principal de ce travail est d'améliorer la gestion des ressources humaines et matérielles dans les services d'urgence. Un système d'allocation des ressources a été adopté comme mécanisme principal dans la modélisation du modèle mathématique proposé. Ce modèle est basé sur la programmation linéaire en nombres entiers pour améliorer la distribution des ressources tout en intégrant le degré de sévérité de l'état des patients. La résolution du modèle a été effectuée à l'aide d'une fonction *intlinprog* sous le logiciel *MATLAB*.

Les résultats obtenus mettent en évidence une réduction notable de la consommation des ressources ainsi qu'une amélioration significative de l'organisation du flux des patients. Pour évaluer l'efficacité de la méthodologie proposée, des données réelles ont été utilisées, recueillies auprès de l'hôpital Bouzidi Lakhdar, situé dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj.

Mots clés : Optimisation, Urgences, Affectation des ressources, programmation linéaire en nombres entiers, Système de santé, Gestion hospitalière, système d'allocation des ressources.

Abstract

This research addresses one of the most important operational issues, namely the question of resource allocation in emergency departments. This challenge consists in allocating resources in accordance with needs, taking into account patient severity. The main objective of this work is to improve the management of human and material resources in emergency departments. A resource allocation system has been adopted as the main mechanism in the proposed mathematical model. This model is based on integer linear programming to improve the distribution of resources while integrating the degree of severity of the patient's condition. The resolution of the model was carried out using an *intlinprog* function under *MATLAB* software. The results obtained show a significant reduction in resource consumption, as well as a significant improvement in the organization of patient flow. To evaluate the effectiveness of the proposed methodology, real data were used, collected from the Bouzidi Lakhdar Hospital, located in the wilaya of Bordj Bou Arreridj.

Keywords : Optimization, Emergencies, Resource allocation, integer linear programming , Healthcare system, Hospital management, resource allocation system.

المُلخَص

تعالج هذه الدراسة إحدى أهم الإشكاليات التشغيلية، والمتمثلة في مسألة تخصيص الموارد في مصالِح الاستعجالات. يتمثل هذا التحدي في توزيع الموارد بطريقة تتماشى مع الاحتياجات، مع مراعاة درجة خطورة حالة المرضى. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تحسين إدارة الموارد البشرية والمادية داخل مصالِح الاستعجالات. وقد تم اعتماد نظام تخصيص الموارد كآلية رئيسية في النموذج الرياضي المقترح. يركز هذا النموذج على البرمجة الخطية الصحيحة من أجل تحسين توزيع الموارد مع دمج درجة خطورة حالة المرضى. تم حل النموذج باستخدام دالة *intlinprog* ضمن بيئة *MATLAB*. وقد أظهرت النتائج المتحصل عليها انخفاضاً معتبراً في استهلاك الموارد، إلى جانب تحسن كبير في تنظيم تدفق المرضى. لتقييم فعالية المنهجية المقترحة، تم استخدام بيانات حقيقية تم جمعها من مستشفى بوزيدي لخضر الواقع في ولاية برج بوعريريج.

الكلمات المفتاحية: التحسين، الاستعجالات، تخصيص الموارد، البرمجة الخطية الصحيحة، نظام الصحة، إدارة المستشفيات، نظام تخصيص الموارد.

Table des matières

Remerciements	i
Dédicace	ii
Dédicace	iii
Résumé	iv
Abstract	v
Liste des tableaux	iv
Table des figures	vi
Notations utilisées	vii
Introduction générale	1
1 État du secteur de la santé en Algérie	5
1.1 Introduction	5
1.2 Le secteur de la santé en Algérie	5
1.2.1 Définition de système de santé	5
1.2.2 Organisation des établissements de santé	5
1.2.3 Objectifs stratégiques	6
1.2.4 Fonctions principales	7
1.2.5 Les composantes du système de santé algérien	7
1.3 La planification sanitaire	7
1.4 Les forces et faiblesses du système de santé algérien	8
1.4.1 Forces	8
1.4.2 Faiblesses	9
1.5 Conclusion	9

2	État de l'art	10
2.1	Introduction	10
2.2	Systèmes d'allocation des ressources	10
2.2.1	Définition générale	10
2.2.2	Les types de ressources	11
2.2.3	Définition mathématique	11
2.3	La Modélisation	13
2.4	Optimisation	14
2.5	Optimisation Combinatoire	14
2.5.1	Problème d'optimisation Combinatoire	15
2.6	Les problèmes d'optimisation dans le service des Urgences (SU)	16
2.6.1	Problème d'affectation des ressources aux urgences	16
2.7	Les méthodes d'optimisation combinatoire	16
2.7.1	Méthodes exactes	17
2.7.2	Méthodes approchées	20
2.8	Théorie de la file d'attente	22
2.8.1	Discipline de services	23
2.8.2	Modélisation des files d'attente	23
2.8.3	Les paramètres d'un système de file d'attente	24
2.8.4	Structure de système de file d'attente	25
2.9	Travaux antérieurs	27
2.9.1	Files d'attente pour la gestion des urgences	27
2.9.2	PL pour l'optimisation des ressources hospitalières	27
2.9.3	PLNE pour l'allocation des ressources	28
2.9.4	Branch-and-Bound pour les horaires Infirmiers	28
2.9.5	Les algorithmes génétiques pour l'allocation des ressources	29
2.9.6	Discussion	29
2.10	Outils de programmation linéaire (PL) et (PLNE)	31
2.11	Conclusion	31
3	Étude de cas et modélisation	32
3.1	Introduction	32
3.2	Aperçu historique	32
3.3	Aperçu géographique	33
3.4	Répartition des services hospitaliers et des capacités d'accueil	33
3.5	Les différentes ressources de l'hôpital Bouzidi Lakhdar	35
3.6	Organigramme de l'EPH Bouzidi Lakhdar	35
3.7	Description du lieu de stage	36
3.7.1	Le service des urgences hospitalières	37
3.7.2	Catégorisation des patients au sein du service	38

3.8	Ressource et collecte de données	39
3.8.1	Répartition des bureaux et des salles dans le service :	39
3.8.2	Capacité et équipements du service	39
3.9	Organisation du travail en service des urgences et analyse de la charge de travail	40
3.10	Le système DEM (Dossier Médical Électronique)	41
3.11	Perception de la qualité des soins aux urgences	42
3.11.1	Contenu du questionnaire	43
3.11.2	Collecte des données	43
3.12	Position du problème	45
3.13	Modèle Proposé	45
3.13.1	Nomenclature du modèle	45
3.14	Conclusion	48
4	Algorithme, Analyse, Interprétation et Discussion	49
4.1	Introduction	49
4.2	Algorithmes	49
4.2.1	Algorithme d'allocation des ressources	50
4.2.2	Algorithme d'analyse temporelle	51
4.2.3	Procédure de calcul_max_patients	52
4.2.4	Implémentation sur Matlab	53
4.3	Analyse et discussion des résultats	54
4.3.1	Résultats de l'affectation des ressources	54
4.3.2	Analyse temporelle par ressource et par étape	60
4.3.3	Évolution du nombre maximal de patients traitables	61
4.4	Organisation visuelle du parcours patient et des ressources	63
4.5	Conclusion	64
	Conclusion Général	65
	Bibliographie	66
	Annexe A	68
	Annexe B	69

Liste des tableaux

2.1	Exemple d'affectation des ressources dans un service des urgences	13
2.2	Paramètres du système de file d'attente.	24
2.3	Valeurs du système de file d'attente.	24
2.4	Études sur la gestion des urgences hospitalières	27
2.5	Synthèse des travaux sur l'optimisation des ressources hospitalières	30
2.6	Outils de programmation linéaire	31
3.1	Répartition des services hospitaliers et des capacités d'accueil	34
3.2	Présentation des ressources de l'hôpital Bouzidi Lakhdar	35
3.3	La fréquence de chaque classe	38
3.4	Répartition des bureaux au service des urgences	39
3.5	Répartition des salles et capacité en lits	39
3.6	Ressources disponibles au service des urgences	40
3.7	Organisation des équipes médicales	40
3.8	Organisation des équipes d'infirmiers	41
3.9	Répartition des tâches (équipe de 4 médecins)	41
3.10	Répartition des tâches (équipe de 3 médecins)	41
3.11	Occupation des lits d'observation	41
4.1	Comparaison du nombre de ressources utilisées par patient (sur 3 ressources)	54
4.2	Répartition et distribution des ressources aux patients à toutes les étapes	56
4.3	Comparaison du taux de couverture des ressources pour 4 patients selon le niveau de gravité	56
4.4	Utilisation actuelle et désorganisée des ressources à chaque étape	57
4.5	Utilisation optimisée et ciblée des ressources selon les besoins réels	57
4.6	Temps total utilisé par chaque ressource à chaque étape (en heures et minutes)	60
4.7	Temps autorisé pour traiter un patient à chaque étape	61

Table des figures

1.1	À l'échelon régional	6
1.2	La planification sanitaire	8
2.1	Flux de ressources selon le besoin	13
2.2	Triangle de modélisation	14
2.3	Classification générale des méthodes d'optimisation mono-objectif	15
2.4	Classification méthodes d'optimisation combinatoire	17
2.5	La programmation linéaire	18
2.6	Illustration du principe de l'algorithme de branch and bound	20
2.7	Schéma des étapes de résolution d'un problème d'optimisation par AG	22
2.8	File d'attente	23
2.9	Système de file d'attente à un serveur	23
2.10	Système de file d'attente à plusieurs serveurs	24
2.11	Système de file d'attente M/M/1	25
3.1	Hôpital Bouzidi Lakhdar	32
3.2	Organigramme de l'ÉPH Bouzidi Lakhdar	36
3.3	La structure organisationnelle des urgences de l'hôpital Bouzidi Lakhdar	37
3.4	Système de tri médical	38
3.5	Le système DEM	42
3.6	Les différents acteurs du DEM	42
3.7	Résultats de l'enquête pour les patients	43
3.8	Nombre de patients en fonction du temps d'attente	44
3.9	Résultats de l'enquête pour les professionnels de santé	45
4.1	Comparaison entre les deux méthodes de ressources utilisées	55
4.2	Utilisation excessive des ressources à toutes les étapes	58
4.3	Utilisation équilibrée des ressources en fonction des besoins à chaque étape	59
4.4	Temps total utilisé par ressource à chaque étape	60
4.5	Évolution du nombre maximal de patients traitables	62

4.6	Le diagramme de Gantt	63
4.7	Parcours du patient aux urgences hospitalières	63
4.8	Affectation des ressources à chaque étape	64

Notations utilisées

Symbole	Description
MSPH	Ministère de la Santé, de la Population et de la Réforme Hospitalière
CHU	Centre Hospitalo-Universitaire
EHU	Établissement Hospitalier Universitaire
EHS	Établissement Hospitalier Spécialisé
INSP	Institut National de Santé Publique
IPA	Institut Pasteur d'Algérie
DRASS	Direction Régionale de la Santé et des Affaires Sociales
DDASS	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
RAS	Système d'allocation des ressources
PL	Programmation Linéaire
PLNE	Programmation Linéaire en Nombres Entiers
B&B	Méthode de Branch and Bound
AG	Algorithmes Génétiques
EPH	Établissement Public Hospitalier
DEM	Dossier Médical Électronique
C1	Très urgent
C2	Urgent
C3	Moins urgent
C4	Non urgent
É1	Enregistrement
É2	Triage
É3	Diagnostic
É4	Tests médicaux
É5	Hospitalisation
É6	Traitement ou orientation

Symbole	Description
C_i	Capacité maximale de la ressource i
I	Nombre de types de ressources (ex : médecins, lits, infirmiers)
J	Nombre total de patients
K	Nombre d'étapes dans le processus de soin
M_{\max}	Nombre maximum de médecins disponibles
L_{\max}	Nombre maximum de lits disponibles
I_{\max}	Nombre maximum d'infirmiers disponibles
g_j	Gravité du patient j
T_{\max}	Temps maximal autorisé pour la prise en charge
Wq_{\max}	Temps d'attente maximal autorisé
L_s	Nombre moyen de clients dans le système
W_q	Temps moyen d'attente dans la file

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le système de santé en Algérie souffre d'un manque d'uniformisation dans les méthodes d'organisation et de gestion entre les établissements hospitaliers, ce qui entraîne une disparité notable dans la qualité des services, notamment entre les secteurs publics et privés. Un large frange de la population à faible revenu se tourne vers les hôpitaux publics, faute de moyens pour accéder aux soins dans le secteur privé, ce qui engendre une forte pression sur ces établissements, en particulier sur les services des urgences. Le service des urgences constitue la première interface pour la prise en charge des cas urgents et critiques sans rendez-vous préalable, et joue un rôle essentiel dans la fourniture de soins immédiats. Cependant, ce service fait face à de nombreux défis, notamment la surcharge, le manque de ressources, et les longs délais d'attente, ce qui affecte négativement la qualité des soins et la sécurité des patients. Cette étude pose donc la question principale :

Comment optimiser l'allocation des ressources dans le service des urgences à l'aide de la modélisation mathématique, dans le but de réduire les temps d'attente et d'améliorer la qualité du service sans dépasser les capacités disponibles ?

Hypothèses proposées :

Hypothèse 1 : L'utilisation d'un modèle mathématique pour optimiser la répartition des ressources contribuera à réduire les temps d'attente au niveau du service des urgences.

Hypothèse 2 : L'allocation des ressources selon le degré de gravité des cas permet d'améliorer l'efficacité des performances et de garantir l'équité dans la prestation des soins.

Hypothèse 3 : Le recours à la modélisation mathématique permet une utilisation optimale des ressources disponibles sans nécessité d'en augmenter le volume.

Hypothèse 4 : L'application d'un modèle de programmation linéaire ou en nombres entiers peut conduire à une amélioration tangible de la qualité des services de santé dans le service des urgences.

En ce sens, la nécessité de trouver une solution est essentielle, car notre travail vise à trouver des solutions pratiques qui permettent d'utiliser plus efficacement les ressources disponibles et de déterminer les temps de service en fonction de la gravité, et les techniques d'optimisation (**programmation linéaire et programmation linéaire en nombres entiers**) font partie des outils modernes qui ont prouvé leur efficacité dans de nombreux domaines, en particulier dans le secteur de la santé

où ils aident à prendre des décisions précises sur l'allocation des ressources et la hiérarchisation des traitements.

De plus, ce travail s'appuie principalement sur le système d'allocation des ressources, ce qui a contribué à l'organisation et à l'amélioration de plusieurs étapes du processus. De nombreuses études ont démontré l'efficacité des modèles mathématiques intégrés à un système d'allocation des ressources dans l'optimisation de la gestion des services d'urgence dans divers pays, ce qui renforce la pertinence de l'adoption de cette approche dans le contexte algérien.

A partir de cette réalité, cette étude s'inscrit dans le cadre de l'allocation efficace des ressources hospitalières à l'aide des techniques d'optimisation afin de mettre en évidence comment améliorer le flux de travail au sein du service des urgences à travers un modèle mathématique qui prend en compte les fluctuations des différentes directions et avec un contrôle précis de la durée de traitement pour une éventuelle organisation interne.

But de la recherche : Améliorer la qualité des services et réduire les temps d'attente au service des urgences à travers un modèle mathématique assurant une allocation efficace des ressources.

Importance : Cette étude se distingue par ses solutions pratiques basées sur la modélisation mathématique et des données réelles, contribuant à une meilleure gestion des ressources et à l'amélioration du système de santé algérien.

L'objectif : L'objectif de cette étude est de proposer un mécanisme efficace pour distribuer les ressources, en fonction du degré de gravité de chaque patient sans dépasser les capacités journalières disponibles et en réalisant la justice dans la prestation des services de santé.

Les principaux objectifs sont les suivants :

- Proposer un modèle mathématique pour optimiser l'allocation des ressources dans le service des urgences.
- Afin de réduire les temps d'attente et d'améliorer l'équité du traitement.
- Minimiser l'utilisation des ressources.

L'hôpital Bouzidi Lakhdar a été choisi comme exemple appliqué pour cette étude, car il reflète la réalité quotidienne du service des urgences en Algérie et fournit des données de terrain qui appuient ce travail.

Délimitation de l'étude

- **Délimitation du temps :** L'étude s'est déroulée durant la période du **03/02/2025** au **05/02/2025**. Cette période a coïncidé avec une forte vague de grippe survenue en janvier ce qui a impacté l'affluence au service des urgences.

- **Délimitation du lieu** : L'étude s'est déroulée à l'hôpital Bouzidi Lakhdar, Bordj Bou Arréridj.
- **Délimitation des personnes** : L'étude a ciblé les patients entrants, le personnel médical et paramédical, ainsi que les différents employés de l'hôpital.

Limitations de l'étude :

- **Limitation de l'échantillon** L'étude s'est limitée à un seul hôpital avec un nombre restreint de participants, ce qui réduit la possibilité de généraliser les résultats à d'autres contextes.
- **Accès restreint aux données** L'obtention de données précises et détaillées sur le flux des patients et l'utilisation des ressources s'est avérée difficile, ce qui a pu affecter la précision de l'analyse.
- **Contraintes temporelles** La période courte de l'étude n'a pas permis de suivre l'évolution des performances sur le long terme.
- **Limites du modèle mathématique utilisé** Le modèle adopté ne prend pas en compte certains facteurs réels tels que les urgences exceptionnelles ou l'aspect psychologique des patients.

Difficultés de l'étude :

- Littérature limitée sur le sujet des services d'urgence.
- Disponibilité limitée de textes légaux et réglementaires récents traitant de la gestion et de l'organisation des services d'urgence médicale.

Cette note se compose de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation d'un ensemble d'informations relatives au système de santé algérien, de sa définition à ses composantes, ainsi que de quelques définitions
- Le deuxième chapitre présente les méthodes et techniques utilisées pour résoudre les problèmes d'allocation des ressources, dans les hôpitaux en mettant l'accent sur le système d'allocation des ressources.
- Dans le troisième chapitre, une présentation détaillée de l'institution hospitalière Bouzidi Lakhdar est présentée, en mettant l'accent sur la façon dont le flux de travail à l'intérieur du service des urgences est mené après que le principal problème dont souffre ce service est la mauvaise allocation et la désorganisation des ressources.
- Au chapitre 4, le modèle mathématique proposé a été résolu à l'aide de la fonction intlinprog dans l'environnement Matlab Afin d'atteindre des objectifs multiples, trois algorithmes différents ont été développés :

Le premier algorithme vise à optimiser l'allocation des ressources disponibles de manière efficace.

Le deuxième algorithme cherche à déterminer le nombre optimal de patients qui peuvent être traités avec ces ressources limitées.

Le troisième algorithme vise à organiser le temps de traitement en fonction de la gravité de chaque cas et, à la fin du chapitre, un modèle mathématique est proposé comme solution.

Chapitre 1

État du secteur de la santé en Algérie

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous mettons en lumière le système de santé en Algérie. L'objectif principal de ce chapitre est de fournir un aperçu global de son organisation et de ses composantes, ainsi que des forces et des faiblesses qui le caractérise. Nous commencerons par définir le système de santé tel qu'il est présenté dans les textes législatifs nationaux, puis nous abordons sa structure organisationnel et ses principales fonctions.

1.2 Le secteur de la santé en Algérie

Cette section présente diverses informations sur le système de santé algérien, depuis sa définition jusqu'à ses composantes.

1.2.1 Définition de système de santé

Selon la loi sanitaire **85.05** "Le système de santé est défini comme un ensemble d'activités et de moyens destinés à assurer la protection et la promotion de la santé de la population".¹

1.2.2 Organisation des établissements de santé

Il est organisé et structuré par le ministère de la Santé de la Population et de la réforme hospitalière (**MSPH**), qui supervise également l'organisation des établissements privés et publics, qui comprend les hôpitaux universitaires, les institutions hospitalières spécialisées, les cliniques et les structures(**CHU,EHU,EHS**) voir figure[1.1]. La structure du système de santé est considérée comme

1. Loi sanitaire 85.05 article 4 ou loi n°85-05 du 17 février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé ,chapitre 1 :principe fondamentaux.

essentielle pour fournir des soins de santé adéquats et les organismes sous-tutelle :

Selon le site officiel du ministère de la Santé :²

- L'Institut National de Santé Publique (INSP).
- L'Institut PASTEUR d'Algérie (IPA).
- Centre national de toxicologie.
- Agence Nationale des greffes.
- Centre national de pharmacovigilance et de matériovigilance.
- L'École nationale de management et de l'administration de la santé.
- Institut national pédagogique de formation paramédical.
- L'Agence Nationale du Sang.

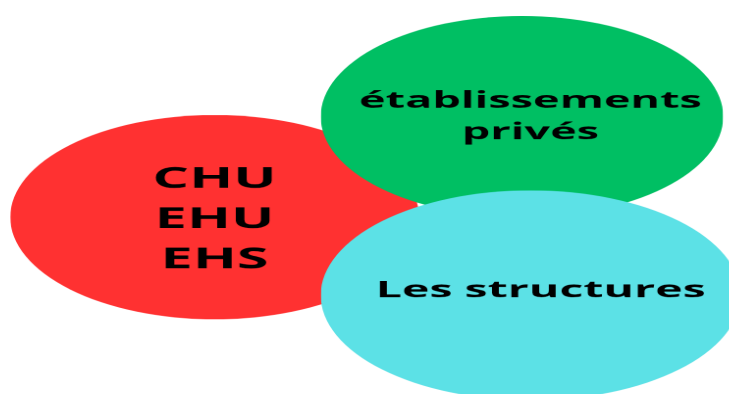


FIGURE 1.1 – À l'échelon régional

1.2.3 Objectifs stratégiques

Les objectifs du système de santé sont résumés dans les points suivants :

- Satisfaction des patients.
- Créer une atmosphère favorable au travail des médecins et autres professionnels de la santé.
- Améliorer la santé de la population desservie.[15]
- Répondre aux attentes des gens.[15]
- Assurer une protection financière contre les coûts de la mauvaise santé.[15]

2. le site officiel du ministère de la santé Nous avons : <http://www.sante.gov.dz/>

1.2.4 Fonctions principales

Les fonctions du système de santé sont caractérisées par les éléments clés suivants :

- La prestation de services.[15]
- La production des ressources humaines et matérielles permettant de dispenser les service.[15]
- La collecte et la mise en commun des ressources utilisées pour financer les soins de santé.[15]
- Enfin et surtout, l'administration générale, qui est la définition et la mise en œuvre des règles et d'une orientation stratégique destinée à toutes les parties prenantes.[15]

1.2.5 Les composantes du système de santé algérien

Le système de santé comprend tous les éléments qui contribuent à identifier et à satisfaire les besoins de santé de la population , et se divise en trois groupes principaux : [16]

-Producteurs et prestataires de soins de santé : Ils comprennent les établissements de santé publics et privés, les réseaux de prestation de soins de santé, les médecins travaillant dans le secteur privé, ainsi que les organismes de prévention tels que les services de protection maternelle et infantile, la médecine scolaire et la santé au travail. Ces acteurs s'appuient sur des ressources matérielles telles que des équipements et des ressources humaines, notamment des médecins, des infirmières et des administrateurs, ainsi que sur des sociétés pharmaceutiques et des laboratoires médicaux. [16]

- Les administrateurs : Le système de santé comprend de nombreux acteurs administratifs, avec à leur tête le ministère de la santé chargé de définir les politiques de santé publique. À l'échelle régionale et départementale, interviennent des structures telles que la direction régionale de la santé et des affaires sociales (DRASS), l'agence régionale de l'hospitalisation des affaires sanitaires et Sociales (DDASS).Au niveau local, les gouvernorats et les municipalités sont responsables de la supervision de la prestation des services de santé et des services sociaux.[16]

- La population : Non seulement elle bénéficie des services de santé, mais elle contribue également au financement du système en payant des impôts et des cotisations sociales .[16]

1.3 La planification sanitaire

La planification sanitaire est essentielle pour assurer, un système de santé intégré qui réponde à l'ensemble des besoins des patients.

Elle assure une répartition équilibrée et rationnelle des ressources, tant humaines que matérielles, dans le cadre d'une répartition territoriale cohérente. La planification sanitaire définit les objectifs et fixe

les moyens à mettre en œuvre dans le domaine des infrastructures et des équipements, des ressources humaines ,ainsi que des programmes de santé.³ voir figure [1.2]

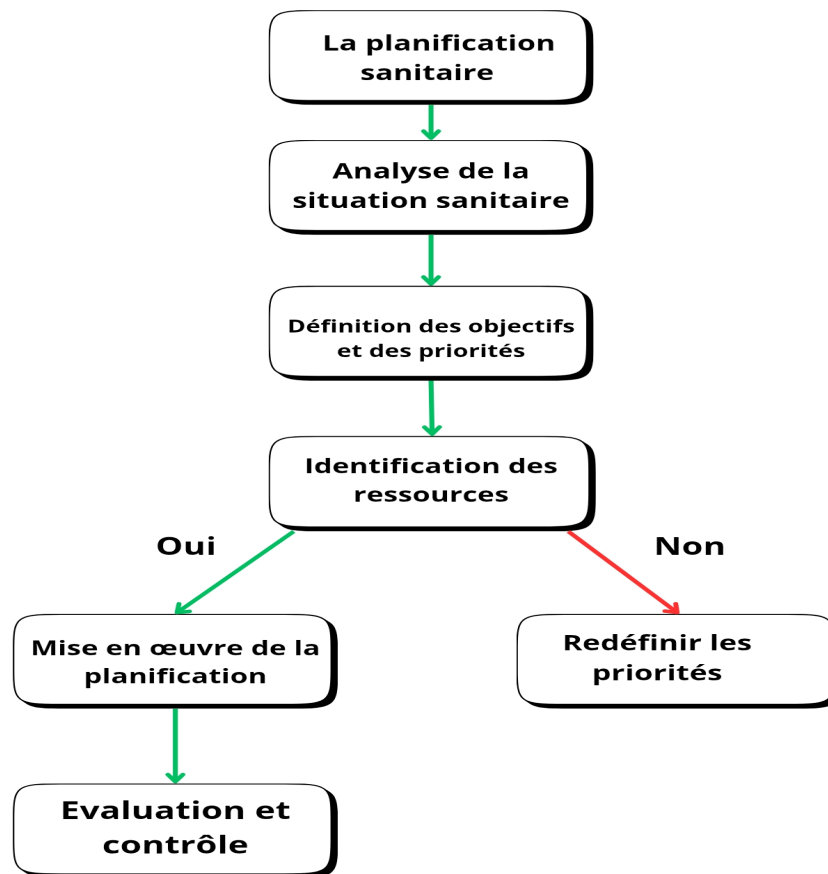


FIGURE 1.2 – La planification sanitaire

1.4 Les forces et faiblesses du système de santé algérien

Le système de santé algérien se caractérise par des forces et des faiblesses :

1.4.1 Forces

- Traitement gratuit : Selon la loi sanitaire 85.05 : " Les prestations de soins définies comme étant l'ensemble des actions de santé publique. Les actes de diagnostic, le traitement et l'hospitalisation des maladies. Sont gratuites dans l'ensemble des structures sanitaires publiques".⁴

3. Loi sanitaire 85.05 article 23 et 24 ou loi n°85-05 du 17 février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé ,chapiter1 :La planification sanitaire.

4. Loi sanitaire 85.05 article 21 ou loi n°85-05 du 17 février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé chapitre 3 :gratuité des soins.

1.4.2 Faiblesses

- L'aspect quantitatif prime sur l'aspect qualitatif.[17]
- Le manque de ressources.
- L'absence d'un système informatisé unifié dans tous les hôpitaux comme le système DME

(Dossier Médical Électronique).

- Le ministère de la santé privilégie souvent le secteur public.

1.5 Conclusion

En somme, le système de santé algérien repose sur une organisation centralisée supervisée par le ministère de la Santé. Son objectif est de répondre aux besoins sanitaires de la population. Bien que les services de santé soient gratuits, le système fait face à de nombreux défis, notamment en matière de qualité des soins et de gestion des ressources. Cela souligne la nécessité d'une planification sanitaire efficace et équitable .

Chapitre 2

État de l'art

2.1 Introduction

Ces dernières années, on observe un intérêt croissant pour le développement de modèles efficaces visant à améliorer la gestion des ressources au sein des services d'urgences a suscité beaucoup d'intérêt, compte tenu des défis auxquels sont confrontées les institutions de santé, tels que la surpopulation, le manque de personnel médical et la mauvaise gestion.

Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur le système d'allocation des ressources et son rôle crucial dans la résolution de nombreux problèmes du secteur de la santé, notamment en optimisant la gestion des services d'urgence. Ensuite, nous présenterons le rôle des modèles mathématiques et des méthodes d'optimisation comme outil essentiel pour soutenir le processus de prise de décision dans ce contexte, en particulier dans le cadre du système d'allocation des ressources, puisque ce système est l'un des principaux axes de la gestion des services des urgences. Nous noterons dans ce chapitre le rôle de l'optimisation pour réduire la pression sur les ressources, et atteindre un meilleur équilibre entre l'offre et la demande grâce à un système d'allocation des ressources plus efficace dans l'environnement des urgences.

2.2 Systèmes d'allocation des ressources

Les définitions suivantes des systèmes d'allocation des ressources représentent la plupart des idées, et concepts clés. Nous pouvons modéliser l'hôpital comme un système d'allocation des ressources.

2.2.1 Définition générale

Un système d'allocation des ressources est un ensemble de méthodes, de règles et d'outils utilisés pour distribuer efficacement des ressources limitées (ressources humaines, ressources infrastructurelles et Ressources financières), aux différents départements et aux différentes utilisations, en fonction de priorités et de limites spécifiques, afin de parvenir à une utilisation optimale des ressources.

2.2.2 Les types de ressources

Les ressources sont définies comme un ensemble de moyens différents, qui aident à sortir d'une situation difficile ou à améliorer une situation, y compris les moyens financiers, les revenus ou les capacités fournis par l'hôpital au personnel médical et aux patients. Les ressources sont divisées en quatre types :

A-Ressources humaines : L'ensemble du personnel de l'hôpital, allant du directeur aux médecins, infirmiers et employés administratifs. voir tableau[3.2]

B-Les ressources matérielles : Sont un ensemble d'équipements et de dispositifs médicaux. voir tableau [3.2]

C-Les ressources infrastructurelles : c'est-à-dire l'ensemble des bâtiments de l'hôpital, tels que le laboratoire et le service des urgences. voir tableau[3.2]

D-Ressources financières : L'hôpital alloue des fonds à la formation des médecins et des administrateurs. voir tableau [3.2]

2.2.3 Définition mathématique

Un système d'allocation des ressources séquentielles (**RAS**) est représenté par un **5-tuple** défini comme suit où :[10]

$$\Phi = \langle \mathcal{R}, C, \mathcal{P}, \mathcal{A}, \mathcal{T} \rangle$$

1. $\mathcal{R} = \{R_1, \dots, R_m\}$ est l'ensemble des types de ressources du système :

- R_1 :Salles.
- R_2 :Lits.
- R_3 :Personnel médical (médecins, infirmiers).

2. $C : \mathcal{R} \rightarrow \mathbb{Z}^+$ - La fonction de capacité du système notée C, est une application de l'ensemble des ressources vers l'ensemble des entiers strictement positifs,¹ cette fonction de capacité, qui caractérise le nombre d'unités identiques de chaque type de ressource disponible dans le système. Ces ressources étant réutilisables, c'est-à-dire que chaque cycle d'allocation n'affecte pas leur état fonctionnel ou leur disponibilité ultérieure, et par conséquent, $C(R_i) \equiv C_i$ constitue un invariant du système pour chaque i . [10]

- $C(R_1) \equiv 4$ Salles.
- $C(R_2) \equiv 4$ Lits.
- $C(R_3) \equiv 3$ Médecins , 7 infirmiers.

1. \mathbb{Z}_0^+ désignera l'ensemble des entiers non négatifs, \mathbb{Z} désignera l'ensemble de tous les entiers, et \mathbb{R} désignera l'ensemble des réels.

3. $\mathcal{P} = \{\Pi_1, \dots, \Pi_n\}$ désigne l'ensemble des types de processus du système *soutenus par la configuration du système considéré*. Chaque type de processus Π_j est lui-même un élément composite, en particulier,[10]

$$\Pi_j = \langle S_j, G_j \rangle,$$

où :

- (a) $S_j = \{\Xi_{j1}, \dots, \Xi_{j,l(j)}\}$ représente l'ensemble des étapes de traitement impliquées dans la définition du type de processus Π_j , [10] et
- (b) G_j représente une structure de données communiquant une logique séquentielle qui s'applique à l'exécution de toute instance de processus de type Π_j . [10]

Π_1 = Traitement du patient aux urgences .

S_1 = Les Étapes.

Ξ_1 =Enregistrement du patient.

Ξ_2 =Examen par un médecin au bureau de triage .

Ξ_3 =Diagnostic par le médecin.

Ξ_4 =Tests médicaux.

Ξ_5 =Hospitalisation .

Ξ_6 =Traitement ou orientation vers un autre service.

G_1 = logique séquentielle.

Le patient doit passer par toutes les étapes précédentes dans l'ordre, de l'inscription.

4. $\mathcal{A} : \bigcup_{j=1}^n S_j \rightarrow \prod_{i=1}^m \{0, \dots, C_i\}$ est la **fonction d'allocation des ressources**, associant chaque étape de traitement Ξ_{jk} à une demande d'allocation des ressources $\mathcal{A}(j, k) \equiv A_{jk}$. [10]

Plus précisément, chaque A_{jk} est un vecteur de dimension m , dont la i -ième composante indique le nombre d'unités de ressources de type R_i nécessaires à l'exécution de l'étape Ξ_{jk} . [10]

Il est évident que, dans un RAS bien défini, on a $A_{jk}(i) \leq C_i$, pour tous les indices j, k, i . [10]

Flux de ressources selon le besoin. tels que :

A : Urgences critiques .

B : Cas moyens .

C : Cas mineurs .

D : Cas pouvant être reportés .

Étape Ξ_{jk}	Ressources nécessaires A_{jk}
Ξ_1 (Enregistrement)	1 secrétaire, 1 ordinateur
Ξ_2 (Triage)	1 médecin, 1 infirmier, 1 salle de triage
Ξ_3 (Diagnostic)	1 médecin, 1 salle de consultation
Ξ_4 (Tests médicaux)	1 technicien, 1 appareil de radiologie, 1 laboratoire
Ξ_5 (Hospitalisation)	1 médecin, 1 infirmier, 1 lit d'observation
Ξ_6 (Traitement ou orientation)	1 médecin, 1 infirmier, 1 lit d'observation

TABLE 2.1 – Exemple d'affectation des ressources dans un service des urgences

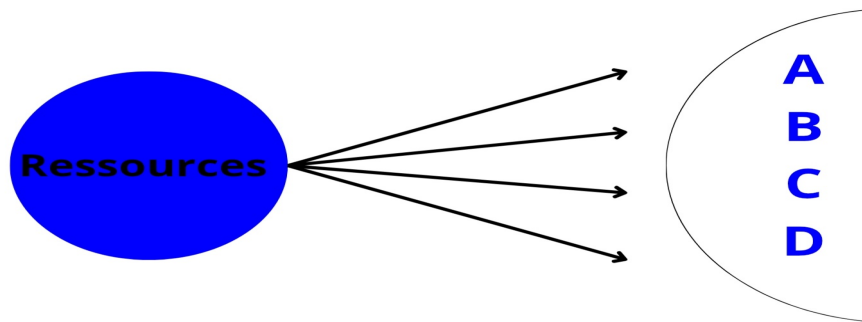


FIGURE 2.1 – Flux de ressources selon le besoin

5. $\mathcal{T} : \bigcup_{j=1}^m S_j \rightarrow \mathcal{D}$ est la *fonction de temporisation*, correspondant à chaque étape de traitement Ξ_{jk} une distribution D_{jk} qui caractérise les statistiques du temps de traitement t_{jk} , subi pendant l'exécution de l'étape Ξ_{jk} . [10]

En outre, $|\Phi| \equiv |\mathcal{R}| + |\bigcup_{j=1}^m S_j| + \sum_{i=1}^m C_i$ sera appelé le *de* Φ .

2.3 La Modélisation

La modélisation constitue une grande partie des mathématiques appliquées, et nécessite des connaissances approfondies non seulement en mathématiques appliquées [5], mais aussi en recherche opérationnelle, qui joue un rôle majeur dans la modélisation des problèmes. En recherche opérationnelle, un modèle selon [4] est une construction mathématique utilisée pour représenter certains aspects importants de problèmes complexes du monde réel. Il existe de nombreux types de modèles mathématiques, mais nous nous concentrerons d'abord sur les modèles d'optimisation. Il existe trois composantes principales Les composantes d'un modèle d'optimisation :

V1- Les variables : Ce sont les composants du modèle qui peuvent être modifiés pour créer différentes configurations. différentes configurations.

V2- Contraintes : Elles représentent les contraintes imposées aux variables.

V3- Fonction objective : Cette fonction attribue une valeur à chaque configuration différente. Le terme « objectif » vient de du fait que le but est d'optimiser cette fonction.[4]

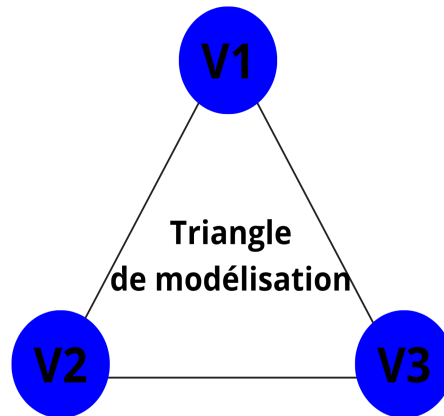


FIGURE 2.2 – Triangle de modélisation

2.4 Optimisation

L'optimisation est le processus de recherche de la meilleure solution possible à un problème donné. Le problème est généralement formulé sous la forme d'une fonction objective, que l'on cherche à maximiser ou à minimiser en modifiant un ensemble de variables appelées variables d'optimisation. Ce processus est souvent régi par un ensemble de contraintes qui doivent être respectées.[3]

L'optimisation peut être :

- ★ les problèmes d'optimisation mono-objectif qui cherchent à optimiser qu'une seule fonction objective à la fois .[3]
- ★ les problèmes d'optimisation multi-objectif qui cherchent à optimiser plusieurs fonctions objectives simultanément.

On classe les problèmes d'optimisation mono-objectif en deux grandes catégories :

L'optimisation Continue et Combinatoire.

2.5 Optimisation Combinatoire

L'optimisation combinatoire est une branche de l'optimisation en mathématiques appliquées et en informatique, étroitement liée à la recherche opérationnelle, à la conception d'algorithmes et à la théorie de la complexité. Ce domaine est également connu sous le nom d'optimisation discrète, en raison de la nature des variables qu'il traite.² Cette approche joue un rôle essentiel dans la résolution des problèmes auxquels sont confrontés les hôpitaux, en particulier la question de l'allocation

2. Techno-Science.net. (s.d.). Optimisation combinatoire - Définition. Consulté le 28 février 2025, à partir de <https://www.techno-science.net/definition/6352.html>

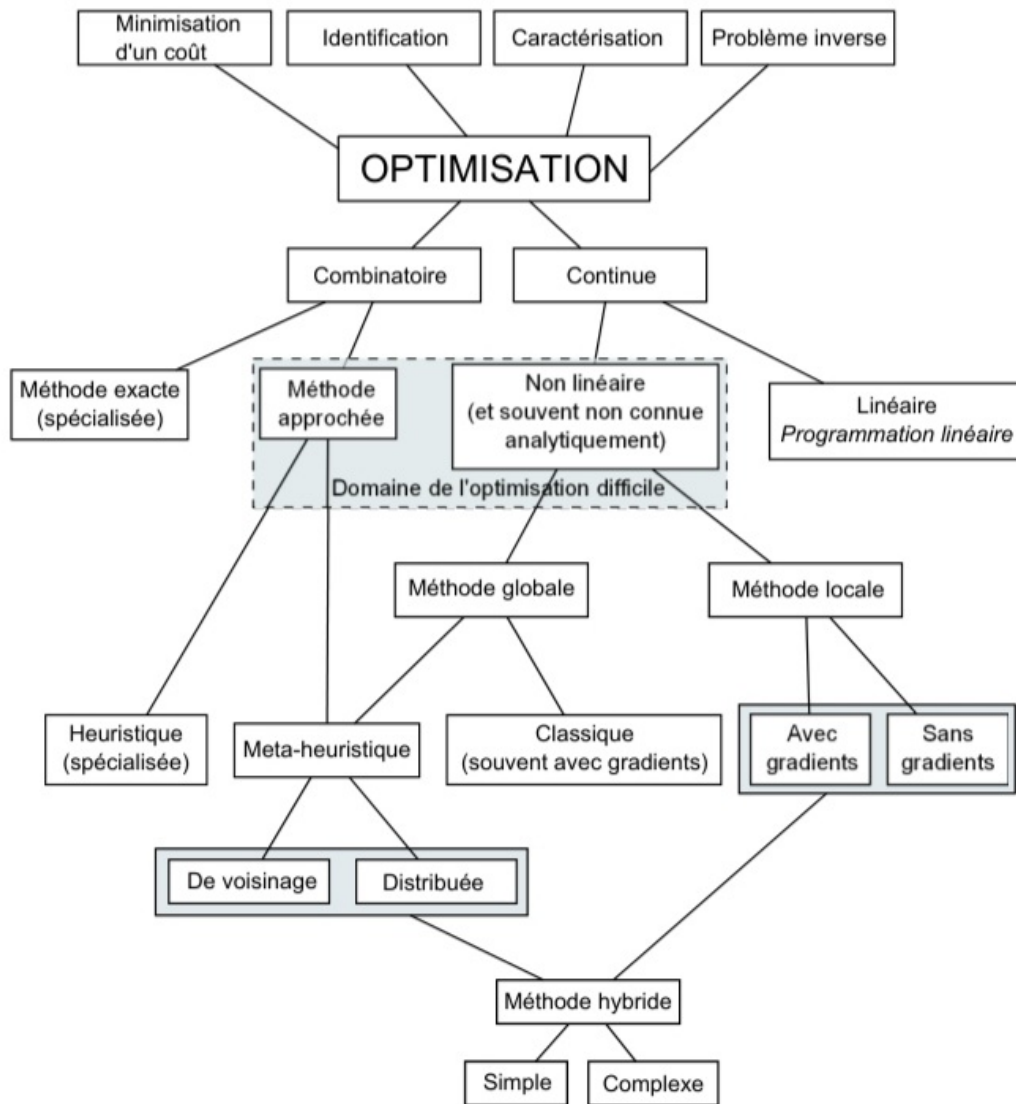


FIGURE 2.3 – Classification générale des méthodes d'optimisation mono-objectif

des ressources. La pénurie constante de lits affecte directement les temps d'attente des patients dans les services d'urgence et une planification souvent inefficace des ressources humaines et financières est à l'origine de ces congestions. L'application des techniques d'optimisation combinatoire permet d'identifier des solutions optimales ou quasi-optimales pour améliorer le service d'urgence et optimiser l'utilisation des ressources.

2.5.1 Problème d'optimisation Combinatoire

Un problème d'optimisation combinatoire cherche à trouver la solution optimale dans un ensemble discret dit ensemble des solutions réalisables. Cet ensemble est fini mais compte un très grand nombre d'éléments, et il est décrit de manière implicite, c'est-à-dire par une liste, relativement courte, de contraintes que doivent satisfaire les solutions réalisables. Dans un problème d'optimisa-

tion combinatoire, la fonction objectif est définie comme une équation mathématique qui évalue la qualité(Coût, Le temps) d'une solution combinatoire de façon à maximiser ou minimiser un critère, il y a quatre problèmes classiques d'optimisation combinatoire : le problème du sac-à-dos, le problème d'affectation, le problème du voyageur de commerce et le problème d'ordonnement.[2]

2.6 Les problèmes d'optimisation dans le service des Urgences (SU)

L'un des problèmes auxquels sont confrontés les administrateurs d'hôpitaux est l'afflux de patients dans le service des urgences, Ces problèmes sont dus à :[11]

- ★La demande croissante des activités.
- ★ La limitation des ressources (humaines ou matérielles).
- ★ Manque de lits d'hospitalisation.

2.6.1 Problème d'affectation des ressources aux urgences

L'allocation est le processus d'affectation des tâches aux ressources de manière à optimiser l'équilibre entre le coût, le temps et la qualité. En recherche opérationnelle (Optimisation combinatoire), les tâches sont attribuées à des agents de manière à ce que chaque tâche soit assignée à une seule personne. Dans les hôpitaux, l'allocation peut être définie comme l'affectation d'une ressource à un patient à un moment donné et dans une situation donnée.

2.7 Les méthodes d'optimisation combinatoire

Les méthodes d'optimisation combinatoire sont des techniques utilisées, pour résoudre les problèmes d'optimisation, car elles recherchent la meilleure solution dans un espace combinatoire. Cela est très difficile car la taille de l'espace augmente de manière exponentielle, ce qui oblige les chercheurs à utiliser des méthodes d'approximation pour trouver des solutions proches de la solution optimale, ces problèmes comprennent des variables discrètes et des valeurs complexes. ce qui les rend difficiles à résoudre à l'aide de méthodes d'optimisation mathématique.

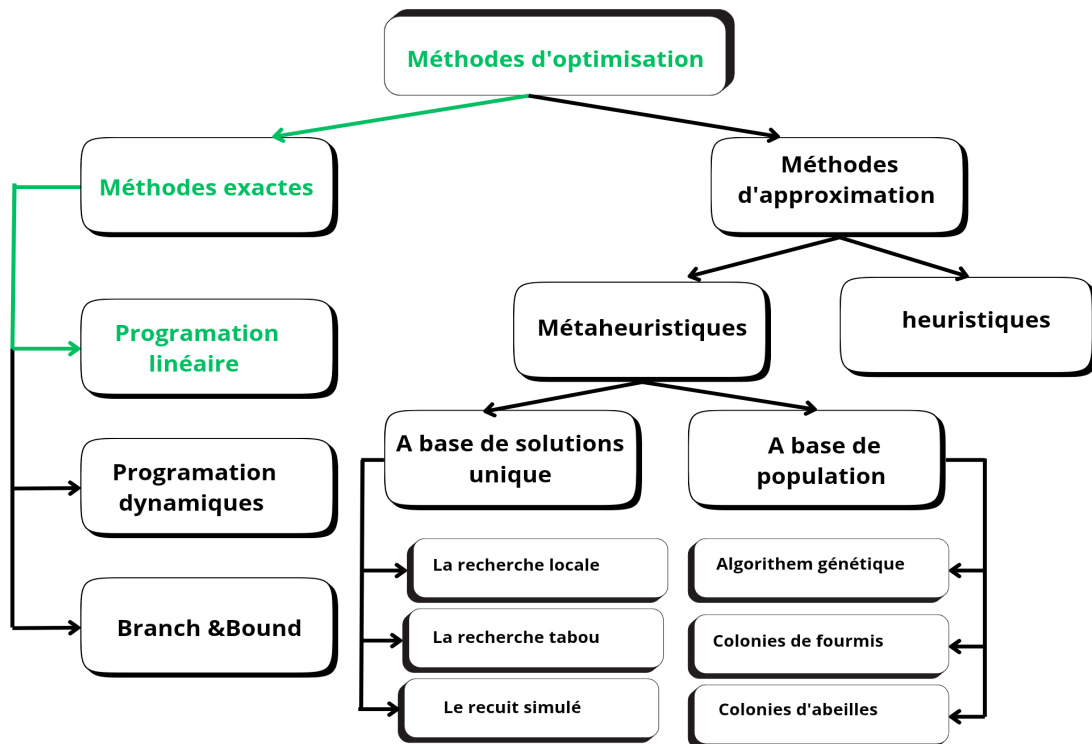


FIGURE 2.4 – Classification méthodes d'optimisation combinatoire

2.7.1 Méthodes exactes

Les méthodes exactes sont des algorithmes[11], qui visent à trouver des solutions optimales dans l'espace de recherche. Cependant, elles nécessitent un temps de calcul très important, de sorte que ces méthodes sont particulièrement efficaces pour les problèmes de petite ou moyenne taille, pour lesquels un temps de calcul suffisant est nécessaire. Dans ce document, nous appuierons sur la programmation linéaire et la programmation linéaire en nombres entiers (PL, PLNE) en particulier.

2.7.2.1 La programmation linéaire

La programmation linéaire est un outil mathématique, qui vise à étudier la fonction objectif linéaire maximale ou minimale lorsque toutes les contraintes sont linéaires, et cette fonction est exprimée par des variables appelées variables de décision. La programmation linéaire joue un rôle important dans l'amélioration des performances globales de l'hôpital, en particulier dans le service des urgences, où elle est appliquée pour optimiser la gestion des ressources dans le service des urgences, notamment à la lumière des contraintes limitées et pas toujours disponibles telles que le nombre de médecins, de lits d'hospitalisation et d'infirmières.

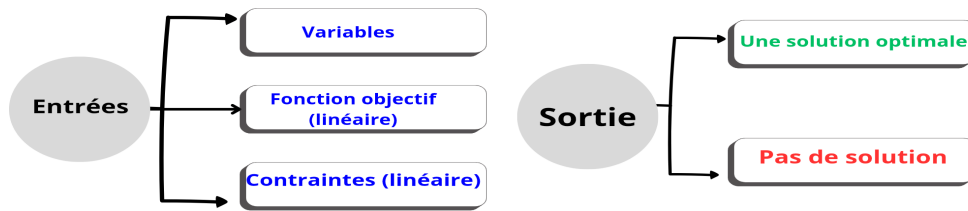


FIGURE 2.5 – La programmation linéaire

A- Formulation du modèle PL

La programmation linéaire est l'une des techniques d'optimisation les plus simples, utilisée pour optimiser une fonction objective linéaire avec des contraintes linéaires. Le modèle de programmation linéaire repose sur trois éléments : les variables de décision, les contraintes et la fonction objective.

La forme générale d'un problème de programmation linéaire est la suivante :

$$(PL) \begin{cases} \text{Optimiser } z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, & i = 1, \dots, m_1 \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = 1, & i = p + 1, \dots, m_2 \\ x_j \geq 0, & j = 1, \dots, m_3 \end{cases} \quad (2.1)$$

Tels que :

- c_j, a_{ij}, b_i constantes et x_j variables de décision.
- Fonction objectif (la fonction optimiser) :

$$z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

- C_j : Coefficient associé à la variable x_j .
- Contraintes de type inégalités inférieures :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m_1$$

- Contraintes de type égalités :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = 1, \quad i = p + 1, \dots, m_2$$

- Contraintes de non-négativité :

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, m_3$$

Avec :

Les notations vectorielles suivantes seront indispensables :

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{c} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$

La matrice des contraintes est définie par :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

L'ensemble des solutions admissibles est donné par :

$$X = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n \mid A\mathbf{x} \leq \mathbf{b}, \quad \mathbf{x} \geq 0\}$$

2.7.2.2 La programmation linéaire en nombres entiers (PLNE)

La programmation linéaire en nombres entiers (PLNE), est une technique d'optimisation utilisée pour résoudre des problèmes combinatoires complexes dans lesquels les décisions sont discrètes.

A-La programmation linéaire en variables 0-1

La programmation linéaire en variables 0-1 est un problème d'optimisation où les variables binaires prennent les valeurs 0 ou 1, et où les contraintes et la fonction objectif sont linéaires. Cette méthode est utilisée pour améliorer la gestion des services d'urgence en optimisant l'utilisation des ressources disponibles. Sa formulation mathématique générale est la suivante :

$$\min \sum_{i=1}^n c_i x_i \tag{2.2}$$

$$\text{s.c.} \quad \sum_{i=1}^n a_{ki} x_i \leq b_k, \quad k = 1, \dots, q \tag{2.3}$$

$$x_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, p \tag{2.4}$$

Avec $c \in \mathbb{R}^n$ vecteur de coûts, $b \in \mathbb{Z}^m$ vecteur des termes constants des contraintes et $A \in \mathbb{Z}^{n \times m}$ matrice des coefficients des contraintes, où p est le nombre de variables et q est le nombre de contraintes.

L'ensemble $S = \{x \in \{0, 1\}^n \mid Ax \leq b\}$ représentent les solutions réalisables du problème (un

vecteur x qui respecte toutes les contraintes).

Les éléments de l'ensemble S qui maximisent la fonction objectif sont les solutions optimales du modèle.

2.7.2.3 Branche and bound

Les algorithmes de branche et bound (**B&B**) sont l'une des techniques utilisées pour optimiser les solutions et résoudre les problèmes, en particulier ceux impliquant des variables entières. Ils constituent une méthode itérative permettant de trouver des solutions optimales à des problèmes non convexes. Cependant, leur complexité exponentielle en fonction de la taille du problème les rend souvent lents. dans certains cas, ces méthodes peuvent atteindre la solution requise avec un effort réduit grâce à des bornes efficaces, et une exploration intelligente de l'espace de recherche. [18] [19]

Branch : est la division ou la séparation.

Bound : calcul d'une limite ou évaluation d'un nœud.

L'objectif est de trouver la solution optimale en partitionnant ,et en contrôlant ensuite l'endroit où l'arbre des sous-problèmes est découvert.

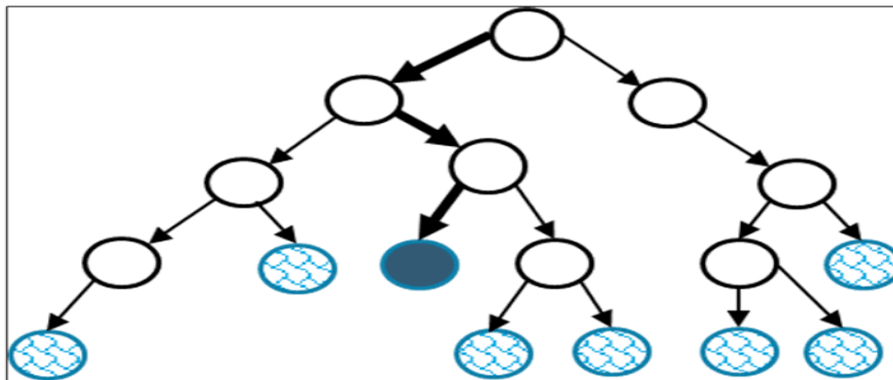


FIGURE 2.6 – Illustration du principe de l'algorithme de branch and bound

2.7.2 Méthodes approchées

Comme indiqué précédemment, les méthodes exactes ne peuvent pas résoudre les problèmes complexes et à grande taille qui nécessitent beaucoup de temps, en particulier lorsque les méthodes sont coûteuses en termes de ressources informatiques. Nous avons donc recours à des méthodes approchées pour gagner du temps sans garantir une solution optimale, et nous nous appuyons sur des heuristiques, ou des méta-heuristiques pour trouver l'espace de recherche, et parvenir à une solution satisfaisante ou acceptable.

2.7.2.1 Les heuristiques

Une stratégie heuristique est une technique qui recherche une solution approximative, qui est la meilleure dans l'espace de solution dans un temps raisonnable, mais qui ne s'attend pas à atteindre une solution optimale, comme : l'algorithme du plus proche voisin pour résoudre le problème du voyageur de commerce, les méthodes gloutonnes, etc.

2.7.2.2 Les méta-heuristiques

Les méta-heuristiques sont des stratégies qui peuvent être appliquées à de nombreux problèmes différents, et qui visent à trouver la solution optimale, dans l'espace de solution en combinant des techniques de recherche locale et globale. Elles offrent une plus grande flexibilité et permettent d'éviter de tomber dans des optima locaux, tels que : Recuit simulé, recherche tabou, les algorithmes génétiques, l'optimisation par essaim de particules.

A-Les algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'optimisation développés par John Holland, qui s'appuient sur des techniques inspirées de la génétique telles que l'accouplement, la mutation et la sélection. Ils peuvent être définis en les codage sous forme de chaînes 0/1 de longueur fixe.[12][13][14]

B-Les principes généraux des algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques consistent en les étapes suivantes :

- **Initialisation** : Une population d'individus générée de façon aléatoire.
- **Évaluation** : Tous les individus du premier groupe sont évalués, et cette évaluation est utilisée comme critère de sélection dans la phase de sélection.
- **Sélection** : On sélectionne un certain nombre d'individus dans la population pour créer un ensemble intermédiaire, qui est utilisé pour générer la génération suivante.
- **Croisement** : On sélectionne deux chromosomes parents P_1 et P_2 en fonction de leur adaptation. On applique aléatoirement l'opérateur de croisement avec une probabilité P_c pour générer deux chromosomes enfants C_1 et C_2 .
- **Mutation** : L'opérateur de croisement est suivi par l'opérateur de mutation avec une probabilité P_m , ce qui produit deux nouveaux individus C'_1 et C'_2 .

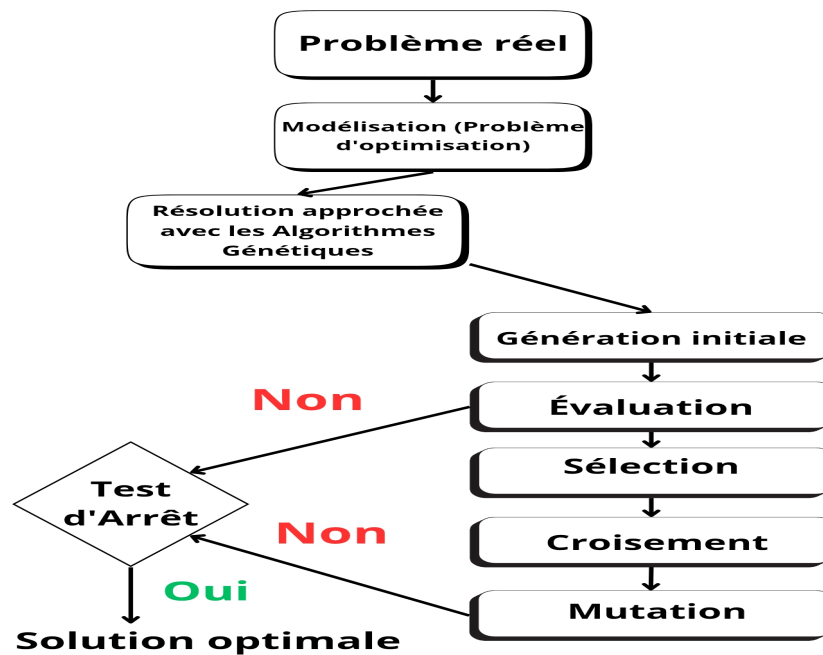


FIGURE 2.7 – Schéma des étapes de résolution d'un problème d'optimisation par AG

2.8 Théorie de la file d'attente

La théorie des files d'attente est une branche des mathématiques appliquées qui vise à étudier le comportement des situations dans lesquelles des clients attendent un service. Elle a été introduite par **Agner Krarup Erlang** pour étudier les appels téléphoniques à Copenhague en 1909.[1] Elle a été généralisée pour être utilisée dans de nombreux domaines tels que les transports, les hôpitaux, etc.

Une file d'attente est créée lorsque le taux d'arrivée dépasse le taux de service. Le processus d'arrivée, et de service est stochastique. Nous ne pouvons pas savoir à l'avance combien de temps, il faudra à un client pour arriver ou combien de temps il faudra pour le service.[6] qu'il demandera. Dans le système de **DEM**, la file d'attente est générée en fonction de la méthode d'enregistrement des patients et le modèle général du système de file d'attente peut être organisé comme suit :

- Les patients arrivent au service des urgences de façon régulière ou irrégulière.
- Ils entrent à tour de rôle dans le bureau de triage. Lorsqu'un patient arrive, si la station de service est vide, il se rend immédiatement dans le service. Si elle n'est pas vide, il attend son tour dans une file d'attente où ils sont classés par ordre d'arrivée.
- Lorsque le médecin effectue le processus de triage, une liste appelée file d'attente est enregistrée et les patients sont appelés par ordre de priorité, en mettant l'accent sur les cas critiques.

Une file d'attente est définie par :

- Population totale de clients.
- Le processus des arrivées de clients.

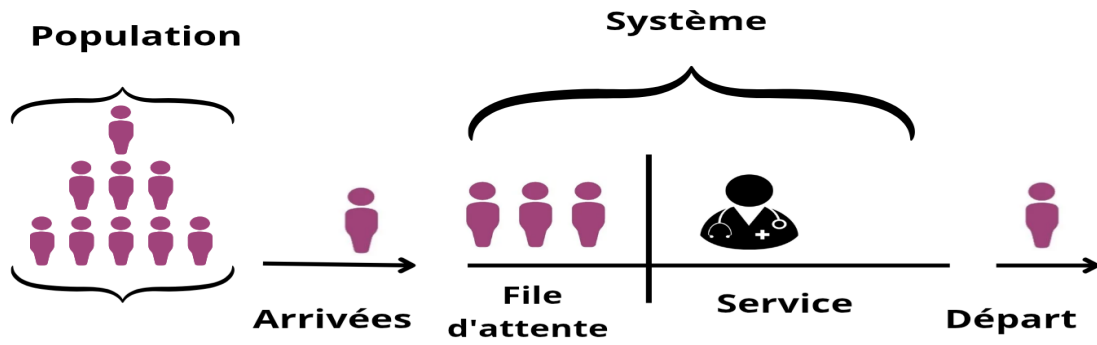


FIGURE 2.8 – File d'attente

- La capacité d'une file d'attente.
- Le nombre de serveurs.
- Le processus des service.

2.8.1 Discipline de services

Le paramètre F définit la discipline de service. telles que :

- **FIFO** : Cela signifie que le premier arrivé est le premier à recevoir le service (First in First Out).
- **LIFO** : Cela signifie que le dernier arrivé est le premier à bénéficier du service (Last In First Out).

2.8.2 Modélisation des files d'attente

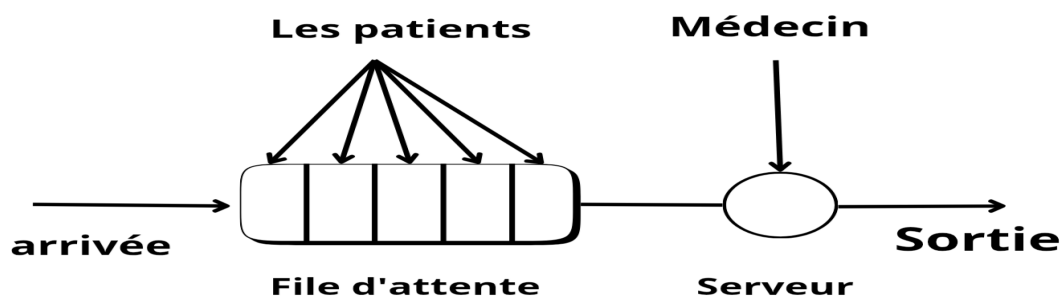


FIGURE 2.9 – Système de file d'attente à un serveur

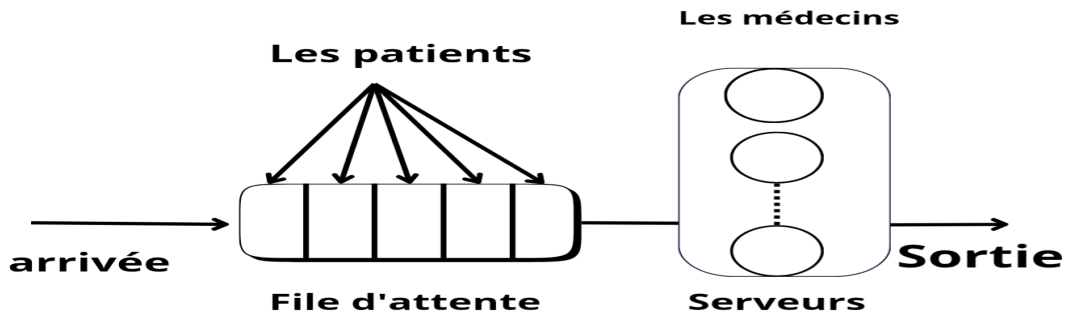


FIGURE 2.10 – Système de file d’attente à plusieurs serveurs

2.8.3 Les paramètres d’un système de file d’attente

Selon [7], les caractéristiques d’un système de file d’attente peuvent être calculées telles que :

Paramètre	Description
L_s	Nombre moyen de clients dans le systémé.
W_q	Nombre moyen de clients dans la file d’attente.
W_s	Temps moyen de séjour d’un client dans le système.
W_q	Temps moyen d’attente d’un client dans la file.
ρ	taux d’occupation du système.

TABLE 2.2 – Paramètres du système de file d’attente.

Valeur	Description
λ	Taux d’arriveé de client.
$1/\lambda$	Temps moyen entre deux arrivées.
μ	Taux de service.
$1/\mu$	Temps moyen de service.

TABLE 2.3 – Valeurs du système de file d’attente.

Ces paramètres permettent de associer la performance d’un file d’attente. Elles sont liées comme elles-mêmes par les relations suivantes :

$$L_s = \lambda W_s$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$$

$$L_q = \lambda W_q$$

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)}$$

2.8.4 Structure de système de file d'attente

2.5.5.1 Système M/M/1

Un système de file d'attente **M/M/1** est un type unique de modèle de file d'attente, On peut aussi le formuler comme un modèle de file d'attente **M/M/1/∞ /∞** avec un serveur, et il y a un nombre infini de clients potentiels dans le système.[1] Ce système est modélisé selon un processus stochastique, qui se caractérise par :

Un processus de Poisson d'arrivée avec un taux donné λ , et une durée de service suivant une loi exponentielle de taux spécifié μ .

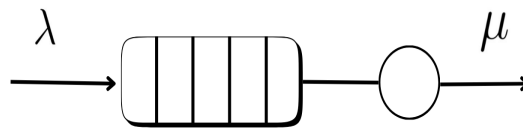


FIGURE 2.11 – Système de file d'attente **M/M/1**

Dans mon cas, le modèle **M/M/1** est plus adapté, parce que :

- Un seul serveur (le Médecin) \rightarrow **M/M/1**
- Arrivées aléatoires des patients (un processus de poisson) \rightarrow **M**
- Temps de service aléatoire (exponentiel, car la durée d'évaluation varie) \rightarrow **M**
- Décision du médecin (traitement, ou orientation vers un autre service)

Les formules caractéristiques du modèle **M/M/1** sont données par :

$$L_s = \frac{\rho}{1 - \rho} \tag{2.5}$$

$$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda} \tag{2.6}$$

$$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (2.7)$$

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)} \quad (2.8)$$

La formule pour calculer le taux d'occupation du serveur est donnée par :

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.9)$$

Pour assurer la stabilité du système, il faut que :

$$\rho < 1 \quad (2.10)$$

2.9 Travaux antérieurs

2.9.1 Files d'attente pour la gestion des urgences

Le tableau [2.4] met en l'utilisation de la théorie des files d'attente pour améliorer la gestion des urgences hospitalières.

Auteur(s)	Année	Méthodologie	Objectif	Portée	Pays
Hajnal Vass, Zsuzsanna K. Szabo	2015	Modèle de files d'attente	Analyser la circulation des patients aux urgences et réduire le temps d'attente	Urgences hospitalières	Roumanie
Linda Green	2006	Modèle de files d'attente	L'analyse des files d'attente dans le secteur des soins de santé permet de réduire les retards dans la prestation des soins de santé [23]	Dans établissements de santé	E'tats-Unis
Jlassi, J	2009	Modèle de files d'attente	Améliorer les performances du service des urgences [24]	Hôpital Hbib Bourguiba	Tunisie
Oudina, S., Baalla, M., Adel-Aissanou, K., & Aïssani, D	2020	Modèle de files d'attente	Évaluer les performances du système en cas de modification de certaines ressources, comme l'affectation d'un autre médecin à la salle de consultation. Modifier le nombre de lits alloués.[26]	Hôpital khelil Amrane (Béjaia)	Algeria

TABLE 2.4 – Études sur la gestion des urgences hospitalières

2.9.2 PL pour l'optimisation des ressources hospitalières

La programmation linéaire joue un rôle important dans la résolution de nombreux problèmes dans les hôpitaux, en particulier ceux liés aux ressources, comme cela a été étudié par un groupe de chercheurs de l'Institut Supérieur de Gestion Industrielle (**Islam Hamidat, Inès Rakik, Oujehan Jelassi, 2021 de Tunisie**) Ils ont développé un modèle mathématique basé sur la programmation linéaire pour résoudre l'affectation des infirmières dans les salles d'opération d'un hôpital qui vise à équilibrer la charge de travail des infirmières et à respecter leurs compétences. Les résultats obtenus sont révélés nettement plus efficaces que la distribution manuelle par le chef du bloc opératoire.

Le modèle a été testé au cours de la première semaine de novembre 2020 sur six cas. 90% des résultats sont meilleurs que la méthode manuelle et 10% sont identiques au calendrier prévu par l'hôpital.

Les applications de la programmation linéaire ne se limitent pas à l'optimisation des ressources. Elles jouent également un rôle important dans la gestion du flux de patients, l'un des problèmes les plus importants dont souffrent la plupart des hôpitaux dans le monde, en réduisant le temps d'inactivité des médecins, ainsi que le problème de l'éloignement de la population par rapport aux hôpitaux et la difficulté de la mobilité et de l'accès aux soins de santé. Car dans de nombreuses zones rurales, la population rencontre difficultés de déplacement vers les hôpitaux en raison de la distance géographique, ce qui a pour conséquence qu'elle ne reçoit pas de soins de santé en temps opportun et conduit parfois à un taux de mortalité élevé, où la programmation linéaire et les logiciels d'optimisation peuvent être utilisés pour résoudre ce problème.

2.9.3 PLNE pour l'allocation des ressources

Dans le cadre de cette recherche, nous nous sommes intéressés à l'application de la programmation linéaire en nombres entiers (PLNE) pour résoudre des problèmes d'allocation optimale du personnel infirmier, notamment dans le contexte des services d'urgence hospitaliers. Plusieurs travaux ont démontré l'efficacité de cette approche dans le domaine de la santé. Par exemple, une étude menée en Tunisie (2021) a permis de résoudre un problème de répartition des infirmières dans les salles d'opération en tenant compte des compétences spécifiques de chaque infirmière, tout en respectant les contraintes du système hospitalier. Par ailleurs, Bojaras et Yothee [27] ont proposé un modèle d'ordonnancement des infirmières basé sur la PLNE, appliqué à l'hôpital Fort Sunpasitthiprasong en Thaïlande. Leur modèle prend en compte plusieurs contraintes pratiques telles que les jours de repos, les heures de travail maximales et les préférences du personnel. Les résultats ont montré que le modèle proposé permettait de générer des horaires optimaux respectant les exigences du personnel et du service, tout en réduisant significativement le recours aux ajustements manuels. Ces études confirment que l'utilisation de la PLNE dans l'ordonnancement des infirmiers permet non seulement de respecter les contraintes opérationnelles, mais aussi d'améliorer l'efficacité de la gestion des ressources humaines dans les hôpitaux.[26]

2.9.4 Branch-and-Bound pour les horaires Infirmiers

Dans cette étude, [22] l'algorithme branch-and-bound a été utilisé à l'hôpital **Québec** pour résoudre le problème de la gestion des horaires de travail des infirmières, dans le but de réduire le risque d'absentéisme et d'améliorer l'utilisation des ressources humaines. Le problème a été résolu à l'aide de l'outil **CPLEX**.

2.9.5 Les algorithmes génétiques pour l'allocation des ressources

Dans le cadre de l'optimisation de la gestion hospitalière, plusieurs chercheurs ont eu recours aux algorithmes génétiques afin d'améliorer l'allocation des ressources dans les services d'urgence. Chen [20] a proposé l'intégration d'un modèle de simulation d'un service d'urgence en Virginie (États-Unis) avec des algorithmes génétiques, ce qui a permis d'obtenir des résultats probants, notamment une réduction significative des temps d'attente et une meilleure utilisation des ressources humaines. De même, une étude menée à l'hôpital Shu-Chuan à Taiwan [21] a appliqué cette approche pour élaborer un horaire quasi optimal du personnel infirmier. L'objectif était de minimiser le temps d'attente des patients, tout en évitant le recours à du personnel supplémentaire. Les résultats soulignent l'efficacité des algorithmes génétiques dans la résolution de problèmes complexes d'allocation des ressources en milieu hospitalier.

2.9.6 Discussion

À travers ce tableau [2.5] comparatif, on constate que différentes approches ont été utilisées pour optimiser la gestion des ressources hospitalières, notamment la programmation linéaire en nombres entiers (PLNE), les modèles de files d'attente et les algorithmes génétiques. Tandis que la PLNE est efficace pour l'ordonnancement du personnel en respectant des contraintes précises, les algorithmes génétiques offrent plus de flexibilité pour résoudre des problèmes complexes, comme la planification dynamique. Ces méthodes se complètent et confirment l'importance des outils d'optimisation dans l'amélioration des performances hospitalières.

Les travaux antérieurs montrent que les modèles de files d'attente aident à comprendre le flux des patients et à réduire la congestion, tandis que la programmation linéaire fournit des solutions précises pour l'allocation des ressources. Les méthodes Branch and Bound et les algorithmes génétiques conviennent bien à la planification complexe du personnel médical. Ainsi le choix de la méthode dépend des besoins spécifiques de chaque établissement hospitalier.

Auteur(s)	Année	Méthodologie	Objectif	Pays
Hamidat et al.[28]	2021	PLNE	Optimisation de l'affectation des infirmières en bloc opératoire	Tunisie
Vass & Szabo [9]	2015	Modèle de files d'attente	Réduire le temps d'attente aux urgences	Roumanie
Green L.[23]	2006	Modèle de files d'attente	Réduction des délais dans la prestation des soins	États-Unis
Jlassi J.[24]	2009	Modèle de files d'attente	Améliorer les performances aux urgences	Tunisie
Oudina et al.[26]	2020	Modèle de files d'attente	Évaluer les performances en modifiant les ressources disponibles	Algérie
Bojaras & Yothee.[27]	2018	PLNE	Ordonnancement des infirmières en tenant compte des contraintes pratiques	Thaïlande
Chen.[20]	2012	Algorithmes génétiques + simulation	Réduction des temps d'attente	États-Unis
Fouilhoux,p.[14]	2015	Algorithmes génétiques	Élaboration d'un planning quasi optimal pour le personnel infirmier	Taiwan
Villeneuve Y.[22]	2022	Branch-and-bound + CPLEX	Optimisation des horaires des infirmières pour minimiser l'absentéisme et améliorer l'utilisation des ressources humaines	Canada

TABLE 2.5 – Synthèse des travaux sur l'optimisation des ressources hospitalières

2.10 Outils de programmation linéaire (PL) et (PLNE)

Le tableau ci-dessous présente quelques outils de programmation linéaire, permettant de résoudre les problèmes liés à l'optimisation de l'utilisation des ressources médicales (médecins, lits, infirmiers)

Catégorie	Outils	Description
Solveurs dédiés	CPLEX	Solveur puissant pour PL et PLNE.
	Gurobi	Très rapide et efficace.
	SCIP	Solveur libre pour PLNE.
	GLPK	Outil open-source pour PL et PLNE.
Python	PuLP	Interface simple pour PL.
	OR-Tools	Outil puissant pour optimisation.
	CVXPY	Pour optimisation convexe et linéaire.
MATLAB	intlinprog	PL et PLNE sous MATLAB, version gratuite. Facile à modéliser et à représenter graphiquement. Utilisé efficacement pour résoudre les problèmes d'allocation des ressources dans les urgences hospitalières.
R	IpSolve	Outil pour PL sous R.
Julia	JuMP	Bibliothèque performante.
Outils en ligne	NEOS Server	Plateforme en ligne.
	AMPL	Langage de modélisation.

TABLE 2.6 – Outils de programmation linéaire

2.11 Conclusion

L'optimisation de l'allocation des ressources dans les services d'urgence est un outil efficace, pour relever les défis liés au manque de personnel, à la surpopulation et à la mauvaise allocation des ressources. La programmation linéaire ont démontré leur capacité à fournir des solutions pratiques permettant de réduire les temps d'attente, d'allouer les ressources de manière appropriée, et d'améliorer la qualité des services. Ainsi, nous concluons que le recours à un système intelligent de répartition des ressources contribue à améliorer la performance et à assurer une meilleure réponse aux besoins des patients.

Chapitre 3

Étude de cas et modélisation

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons une vue d'ensemble de l'hôpital Bouzidi Lakhdar, y compris sa situation géographique, son importance et les différentes ressources disponibles. Nous présenterons également un ensemble de données recueillies au cours de ce stage, en plus de passer en revue les différentes activités que nous avons menées au sein de l'hôpital et d'étudier les différents problèmes rencontrés dans le service des urgences. Enfin, le problème a été formulé mathématiquement en s'appuyant sur des variables telles que la capacité et les temps d'attente des patients, en résolvant ce modèle à l'aide d'outils d'optimisation .



FIGURE 3.1 – Hôpital Bouzidi Lakhdar

3.2 Aperçu historique

L' établissement accueille divers cas médicaux en provenance de différentes régions de la wilaya, et les services de santé sont fournis aux citoyens en fonction des spécialités disponibles et des unités médicales actives. Il étend également sa couverture aux wilayas voisines, comme Bouira et M'sila, ce qui en fait l'un des établissements de santé les plus importants de la région. L'établissement a traversé deux phases majeures dans son développement :

- **Entre 1985 et 2007** : L'établissement était connu sous le nom de *secteur sanitaire*. Il a été inauguré le 13 mai 1984 par M. Djamel Houhou, membre du comité central et ministre de la santé publique de l'époque, avec une capacité de 240 lits.
- **À partir de 2007** : Avec la publication du **décret exécutif 140/07 du 13 mai 2007**, définissant la création, l'organisation et le fonctionnement des établissements hospitaliers, il a été transformé **Établissement Public Hospitalier Bouzidi Lakhdar**
- Il est ainsi devenu un établissement à caractère administratif, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, conformément à la **décision 2828 du 3 mars 2008**, qui précise les services et unités qui lui sont rattachés au sein de l'Établissement Public Hospitalier de Bordj Bou Arreridj.¹

3.3 Aperçu géographique

L'hôpital public Bouzidi Lakhdar est l'une des structures de santé relevant de la Direction de la Santé et de la Population de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Il est situé au sud-ouest de la ville, délimité :

- Au nord par le quartier *17 Octobre*,
- Au sud par le *lotissement 264*,
- À l'est par le quartier *El-Moukahafhine*,
- À l'ouest par le *lotissement 471*.

L'établissement s'étend sur une superficie totale de **70 000 m²**, dont **48 000 m²** sont occupés par des bâtiments répartis sur quatre structures. Sa capacité d'accueil est de **240 lits**, répartis entre les différents services et unités internes, comme illustré dans le tableau 4.4 ci-dessous. Ces services assurent une hospitalisation continue des patients **24 heures sur 24, 7 jours sur 7**.

3.4 Répartition des services hospitaliers et des capacités d'accueil

L'hôpital Bouzid Lakhdar dispose de quatre bâtiments aux fonctions différentes et les services sont répartis en fonction des spécialités. Le tableau ci-dessous [3.1] indique les bâtiments et les services.

1. Les informations historiques et géographiques concernant l'Hôpital Bouzidi Lakhdar ont été obtenues à partir des documents officiels fournis par l'administration de l'Hôpital

Bâtiment	Services et capacités
Première structure : Bâtiment principal	
Rez-de-chaussée	<ul style="list-style-type: none"> — Service d'accueil des urgences : 13 lits — Service de chirurgie générale : 46 lits — Service de chirurgie des enfants : 10 lits — Service de chirurgie orthopédique : 33 lits — Service de radiologie : 25 lits
1 ^{er} étage	<ul style="list-style-type: none"> — Service de médecine interne : 30 lits — Service de neurologie : 14 lits — Service de cardiologie : 30 lits
2 ^e étage	<ul style="list-style-type: none"> — Service de pneumologie : 30 lits — Service des maladies infectieuses : 30 lits
3 ^e étage	<ul style="list-style-type: none"> — Service des maladies psychiatriques : 30 lits
Deuxième structure : Centre de transfusion sanguine	
Centre de transfusion sanguine	
Troisième structure : Services administratifs et médicaux divers	
<ul style="list-style-type: none"> — Administration générale — Laboratoire central — Laboratoire d'anatomie pathologique — Service de médecine légale — Service d'épidémiologie et de médecine préventive — Unité des maladies du sang — Pharmacie centrale — Médecine du travail 	
Quatrième structure : Unités spécialisées	
<ul style="list-style-type: none"> — Unité de traitement des tumeurs et d'intervention rapide. 	

TABLE 3.1 – Répartition des services hospitaliers et des capacités d'accueil

3.5 Les différentes ressources de l'hôpital Bouzidi Lakhdar

Le tableau ci-dessous [3.2] montre les différentes ressources de l'hôpital Bouzidi Lakhdar : ressources humaines, ressources matérielles, ressources financières, ressources infrastructurelles :

Ressources humaines :	
Médecins (généralistes et spécialistes) :	Médecins spécialistes : 105 / Médecins généralistes de la santé publique : 78
Corps communs	59
Agents contractuels	89
Personnel paramédical	323
Agents d'anesthésie et de réanimation	25
Biologistes en santé publique	19
Psychologues en santé publique	6
Pharmaciens des services de santé	6
Ouvriers qualifiés	22
Administration chargée des télécommunications et réseaux	1
Ressources matérielles :	
Équipements médicaux (appareils de radiologie, scanners)	Scanners : 1 / Appareils de radiologie : 3
Lits d'hospitalisation	230 lits
Fauteuils roulants et brancards	10
Ressources infrastructurelles :	
Laboratoires	3
Urgences	1
Ressources financières :	
Budget pour l'achat d'équipements	7 762 888,84 DA
Fonds pour la formation du personnel	612 500,00 DA
Financements pour l'entretien des infrastructures	12 641 479,00 DA

TABLE 3.2 – Présentation des ressources de l'hôpital Bouzidi Lakhdar

3.6 Organigramme de l'EPH Bouzidi Lakhdar

La figure ci-dessous montre l'organigramme de l'hôpital Bouzidi Lakhdar, que j'ai obtenu à partir du dossier de l'hôpital. Cette division du travail assure la cohérence entre les différents services, à commencer par le directeur : Voir [3.2]

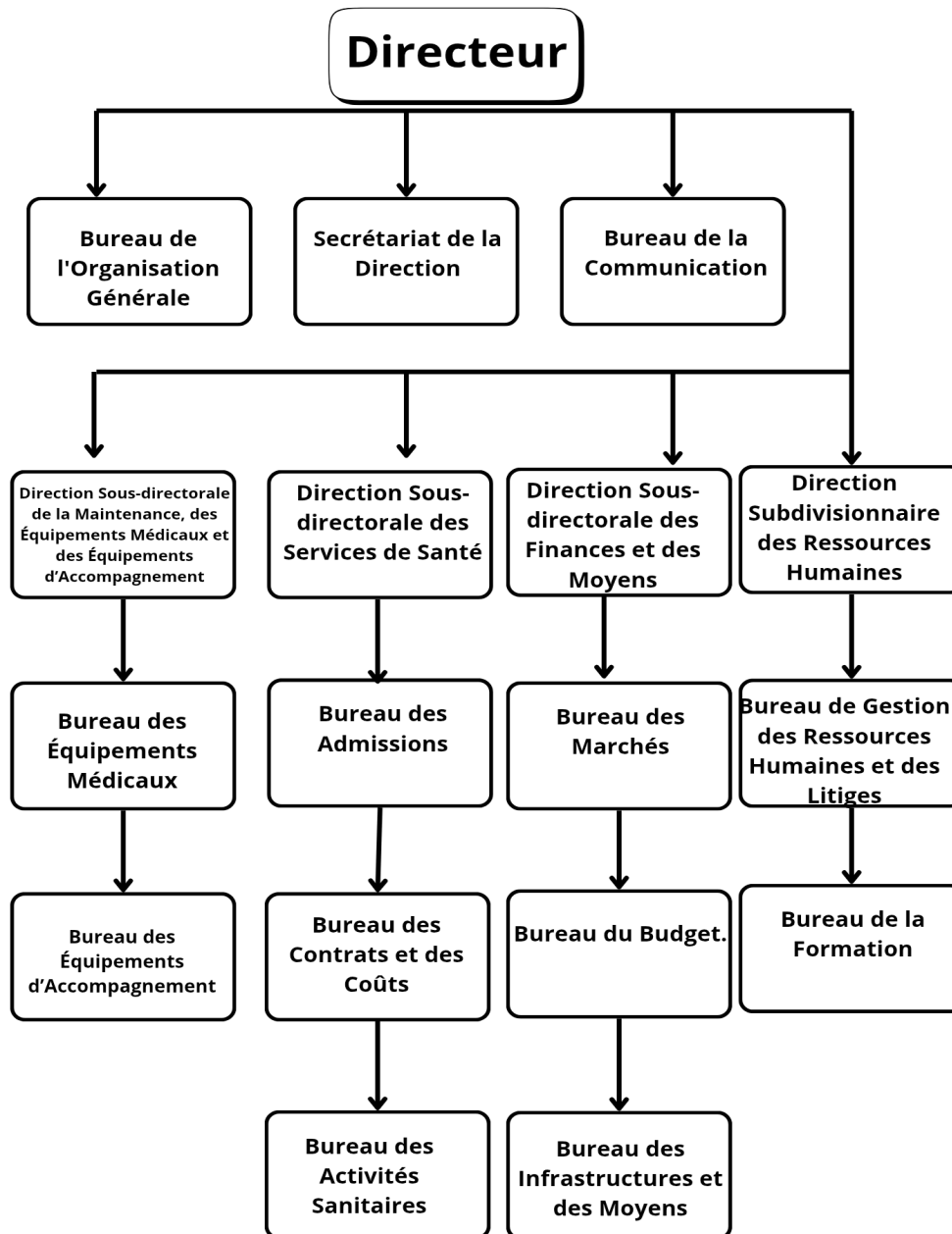


FIGURE 3.2 – Organigramme de l'ÉPH Bouzidi Lakhdar

3.7 Description du lieu de stage

Le stage s'est déroulé dans le service des urgences précisément dans le bureau de triage médical, et d'examen médical pour plus d'informations, le service des urgences est un service essentiel qui assure une prise en charge rapide et efficace des patients, notamment dans les cas critiques, ce service est composé de différents bureaux et salles spécialisées.

3.7.1 Le service des urgences hospitalières

Le service des urgences est l'un des principaux services de l'hôpital, et constitue l'entrée de l'hôpital, où il accueille les patients en situation d'urgence et leur fournit des soins médicaux immédiats. Ce service se caractérise par une intervention rapide dans les cas critiques, grâce à une équipe médicale et infirmière qualifiée, qui travaille 24h/24 heures pour assurer une prestation de soins rapide et efficace.

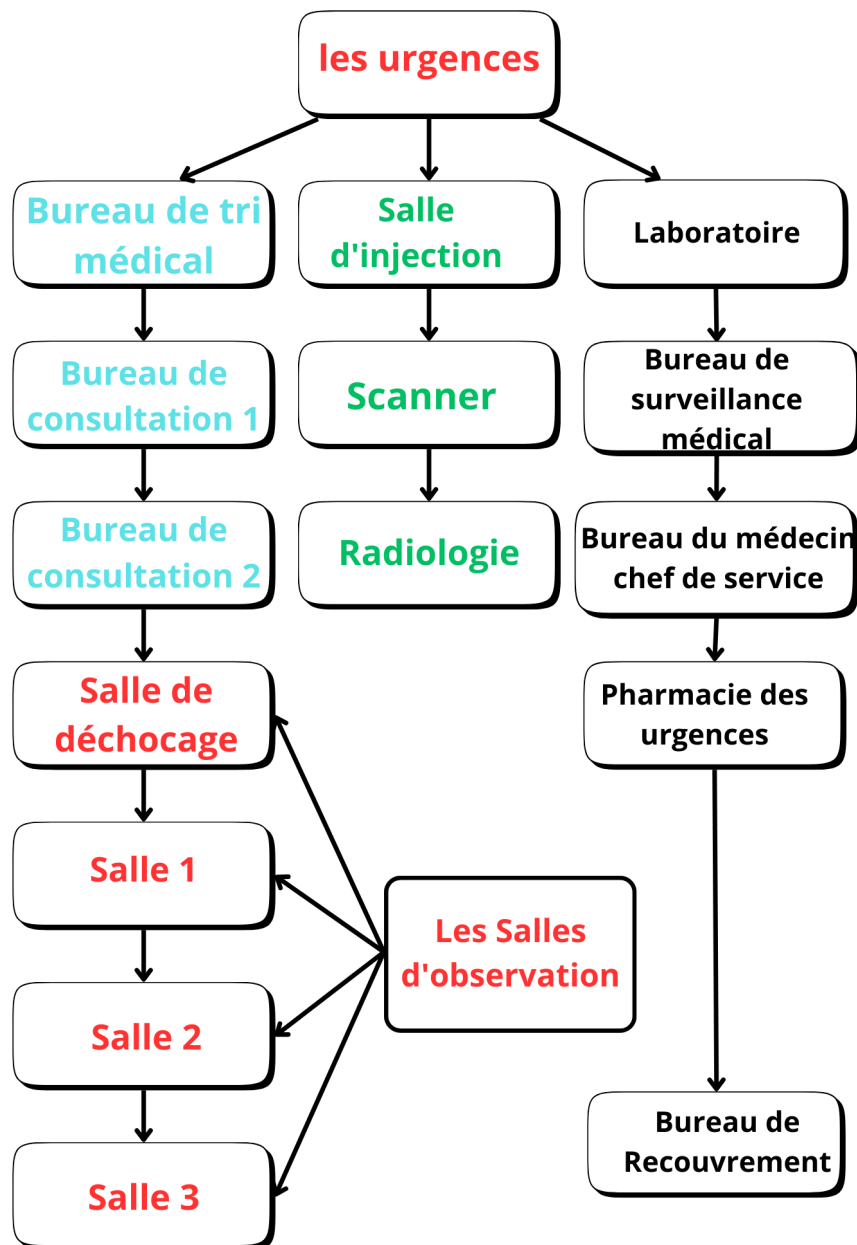


FIGURE 3.3 – La structure organisationnelle des urgences de l'hôpital Bouzidi Lakhdar

3.7.2 Catégorisation des patients au sein du service

Les patients sont classés en quatre catégories en fonction de leur gravité :

C1 :Très urgent .

C2 : urgent .

C3 :Moins urgent.

C4 :Non urgent .

وقت الإنتظار Temps D'attente	نوع الطوارئ Type D'urgence	اللون Couleur
فبء الحال Immédiatement 0 min	مستعجل ءءا Trés Urgent (Urgence Vitale)	الأءمر Rouge
إلء 15 ءقبة 15 Minutes	مستعجل Urgent	البرءقالء Orange
إلء 60 ءقبة 60 Minutes	أقل ءطوءة Moins Urgent	الأصفر Jaune
إلء 120 ءقبة 120 Minutes	ءبر مستعجل Non Urgent	الأءضر Vert

FIGURE 3.4 – Système de tri médical

Les pourcentages obtenus en collectant les données du tableau ci-dessous déterminent la fréquence de chaque classe.

Classe	Nombre de patients	Fréquence	Fréquence cumulée
C1	20	0.3333	0.3333
C2	10	0.1667	0.5
C2	10	0.1667	0.6667
C3	20	0.3333	1.0

TABLE 3.3 – La fréquence de chaque classe

3.8 Ressource et collecte de données

Nous allons présenter un ensemble de données collectées au service des urgences de l'hôpital Bouzidi Lakhdar. Ces données ont été collectées sur une période de trois jours, pendant les heures de pointe, lorsque l'hôpital connaissait une forte demande et une forte pression sur les médecins.

3.8.1 Répartition des bureaux et des salles dans le service :

Type	Bureau
Principaux	Bureau de tri
	Bureau de consultation
Secondaires	Bureau de surveillance médicale
	Bureau du médecin chef service
	Bureau de recouvrement
	Bureau de la pharmacie des urgences

TABLE 3.4 – Répartition des bureaux au service des urgences

Salle	Nombre de lits
Salle de déchocage	2
Salle 1	4
Salle 2	4
Salle 3	3

TABLE 3.5 – Répartition des salles et capacité en lits

Au cours de la période de collecte des données de trois jours, les lits des salles **1,2 et 3** ont été occupés en permanence, tandis que la salle de réanimation était entièrement occupée de **9 heures** du matin jusqu'au deuxième jour, de sorte que si un patient se présentait le deuxième jour, il y avait une longue attente, ce qui faisait qu'aucun lit n'était disponible pour un patient gravement malade. Malgré la grande importance de cette salle pour traiter les cas d'urgence.

3.8.2 Capacité et équipements du service

Les ressources collectées au service des urgences montrent une capacité limitée en infrastructures et en équipements médicaux. Avec seulement 13 lits disponibles et 2 intubateurs, la prise en charge

des patients en état critique peut être compromise lors des périodes de forte affluence.

Type de ressource	Quantité
Infrastructures	
Nombre total de lits	13
Lits roulants (Brancards)	4
Personnel médical	
Médecins	15
Infirmiers	13
Équipements médicaux	
Moniteurs cardiaques (ECG)	4
Intubateurs	2
Équipements de mobilité	
Fauteuils roulants	6

TABLE 3.6 – Ressources disponibles au service des urgences

3.9 Organisation du travail en service des urgences et analyse de la charge de travail

Dans le cadre d'un stage de trois jours au service des urgences, j'ai étudié l'organisation du travail des médecins et des infirmières, ainsi que la gestion des flux de patients et de l'occupation des lits. L'objectif de cette analyse était d'identifier les contraintes opérationnelles et la modélisation des flux de patients afin d'améliorer la gestion des ressources humaines et matérielles. D'après mes observations durant ces trois jours, le remplissage des lits est un obstacle majeur à la fluidité du flux des patients car les lits sont occupés entre 09h00 et 14h00. Certains jours, nous constatons une surpopulation à partir de 12h00, ce qui entraîne des retards dans la prise en charge des nouveaux patients, et cette situation entraîne une pression constante sur les médecins et les infirmières qui doivent à la fois gérer les examens, le triage et le suivi des patients.

Élément	Détail
Nombre total de médecins	15 médecins
Système de rotation	2 jours de travail , 2 jours de repos
Nombre de médecins par équipe	3 à 4 médecins (la majorité ont 3)
Horaires de travail	- Équipe du matin : 08h00 - 14h00 - Équipe de l'après-midi/nuite : 14h00- 20h00 /20h00 - 08h00
Nombre de lits d'observation	13 lits

TABLE 3.7 – Organisation des équipes médicales

Équipe	Nombre d'infirmiers	Horaires	Rotation
Équipe 1	6 infirmiers	08h00 - 17h00	2 jours de travail/ 2 jours de repose
Équipe 2	7 infirmiers	08h00 - 17h00	2 jours de travail/ 2 jours de repose

TABLE 3.8 – Organisation des équipes d'infirmiers

Médecin	Tâche
Médecin 1	Triage des patients (évaluation initiale)
Médecin 2	Consultation - Salle 1
Médecin 3	Consultation - Salle 2
Médecin 4	Surveillance des patients en observation(13 lits)

TABLE 3.9 – Répartition des tâches (équipe de 4 médecins)

Médecin	Tâche
Médecin 1	Triage + cas légers
Médecin 2	Consultation dans les deux salles
Médecin 3	Surveillance des patients en observation(13 lits)

TABLE 3.10 – Répartition des tâches (équipe de 3 médecins)

Période	Observation
09h00 - 14h00	Les 13 lits sont toujours occupés
Certains jours dès 12h00	Saturation rapide , retard dans la prise en charge des nouveaux patients
Conséquence	Pression accrue sur médecins et infirmiers

TABLE 3.11 – Occupation des lits d'observation

3.10 Le système DEM (Dossier Médical Électronique)

Le système DEM (Dossier Médical Électronique) est utilisé à l'hôpital Bouzidi Lakhdar, mais sa mise en œuvre n'est encore que partiellement réalisée. Le dossier médical électronique (DME) est l'un des meilleurs systèmes sur lesquels s'appuient les services de santé en Algérie, car il contribue à la conversion des documents papier en fichiers électroniques.² Le système de gestion électronique de l'information sur la santé des patients a reçu plusieurs appellations, notamment : dossier patient informatisé (DME) ou (PHR)Personal Health Record [6]ect..... Son objectif est d'améliorer la qualité et l'efficacité des soins de santé, d'optimiser les conditions de travail du personnel médical et administratif, tout en garantissant la satisfaction des patients, grâce à une interface simple et conviviale.³

Il se caractérise par plusieurs éléments, notamment :

- La confidentialité et la sécurité des informations.

2. <http://m-quality.net>

3. Mawhoub Messaoudi, 2023/2024.

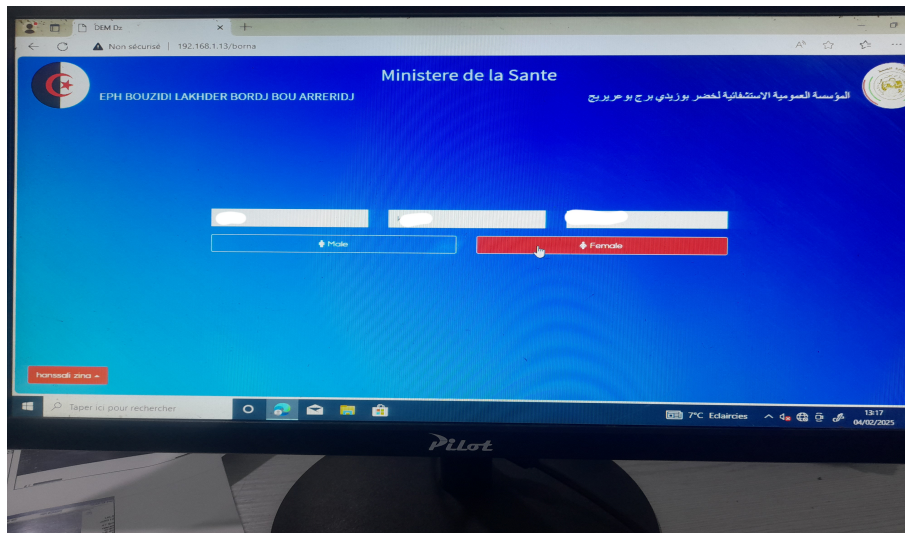


FIGURE 3.5 – Le système DEM

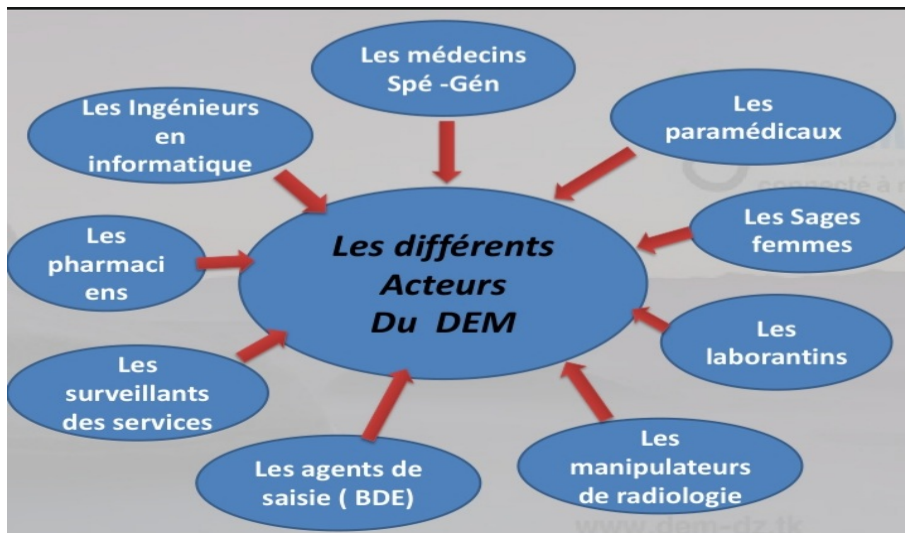


FIGURE 3.6 – Les différents acteurs du DEM

- La gestion du cycle de vie de l'information médicale.
- La coordination et la communication.

Composants du dossier médical électronique :

- Informations médicales.
- Informations personnelles.
- Informations administratives.
- Intégration électronique des documents médicaux.

3.11 Perception de la qualité des soins aux urgences

Dans le cadre d'une étude de terrain sur l'efficacité des services d'urgence, un questionnaire a été administré à un échantillon de 60 patients se rendant aux urgences de l'hôpital Bouzidi Lakhdar,

ainsi qu'à des médecins, des infirmières et des administrateurs. L'objectif principal était d'évaluer la qualité des soins prodigués et la rapidité de la prise en charge des urgences.

3.11.1 Contenu du questionnaire

Le questionnaire comprenait plusieurs thèmes principaux, notamment :

- **Les données démographiques** : l'âge et le sexe.
- **Expérience antérieure du service des urgences** : le patient s'est-il déjà rendu dans ce service ?
- **Motifs de consultation** : la nature de l'urgence qui a poussé les patients à se faire soigner.
- **L'évaluation des services reçus** : le temps d'attente, la rapidité des soins et la satisfaction globale du patient.

Le second questionnaire comprend : Évaluation général du service des urgences.

3.11.2 Collecte des données

L'enquête a été menée sur une période de trois jours consécutifs, de 8h à 14h, dans le but d'observer les périodes de pointe dans le service des urgences et d'analyser la réactivité du personnel médical pendant ces heures critiques.

A-Pour les patients

L'étude a donné les résultats suivants :

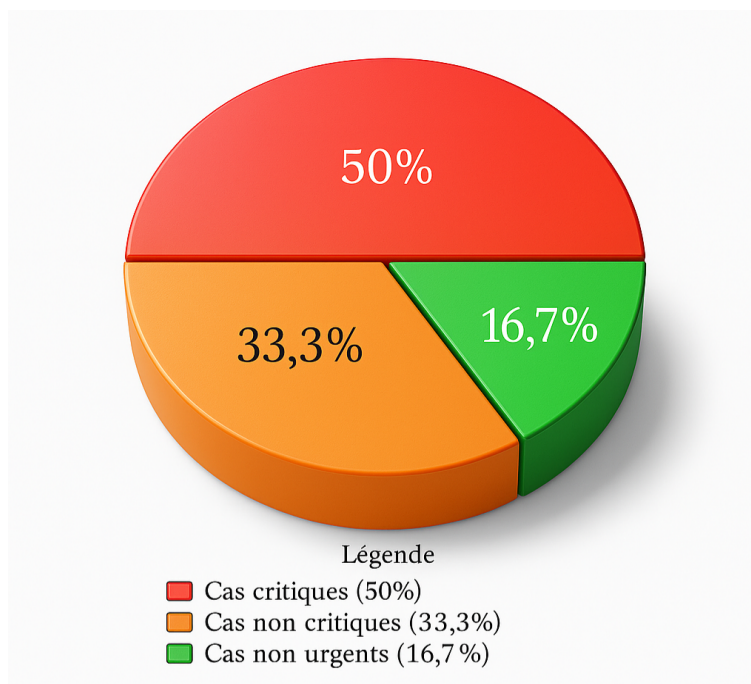


FIGURE 3.7 – Résultats de l'enquête pour les patients

- **33,3 % des patients (20 patients)** patients ont été pris en charge en **moins de 10 minutes**. La majorité de ces cas n'était pas critique et venaient tout juste d'arriver.
- **16,7 % des patients (10 patients)** ont attendu entre **10 et 30 minutes** avant d'être pris en charge. Leurs cas n'étaient pas critique.

- **50 % des patients (30 patients)** ont attendu **plus de 30 minutes**, dont **18 cas étaient critiques**, avec des pathologies nécessitant une intervention rapide :
 - Détresse respiratoire aiguë nécessitant une prise en charge immédiate.
 - Fièvre sévère nécessitant une attention médicale urgente.
 - Hypertension critique (tension atteignant **19**), mettant la vie de patient en danger si aucune intervention rapide n'est réalisée.

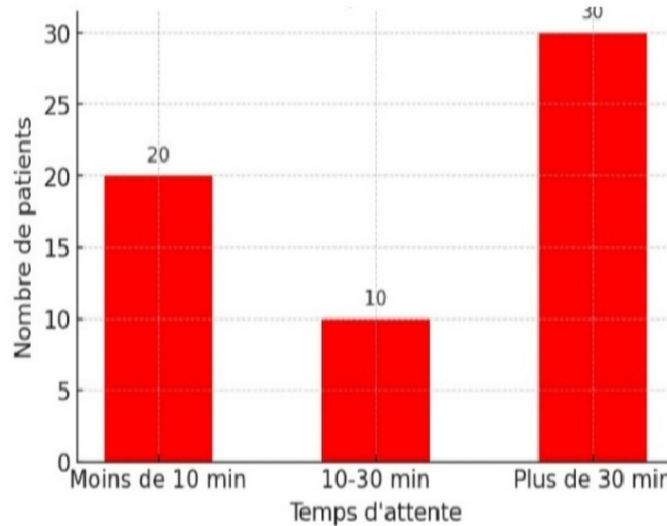


FIGURE 3.8 – Nombre de patients en fonction du temps d'attente

Ces résultats montrent que **50 % des patients ont dû attendre plus de 30 minutes**, ce qui met en évidence un **déficit de rapidité dans la prise en charge des cas critiques**. Ce problème pourrait être attribué à :

- Une **surcharge du service** liée à une forte affluence.
- Un **manque de personnel médical** disponible.
- Un **défaut d'organisation** dans la gestion des priorités médicales.

B-Pour les professionnels de santé

Dans ce questionnaire, j'ai interrogé 16 personnes, dont des médecins, des infirmières et du personnel administratif impliqués dans le fonctionnement du service des urgences. L'objectif de ce questionnaire était d'évaluer leur perception du déroulement des opérations au sein du service, notamment en ce qui concerne :

- L'évaluation de l'état des patients pris en charge.
- Les stratégies de gestion de l'afflux de patients.
- L'impact de la charge de travail sur les soignants ainsi que sur les patients.

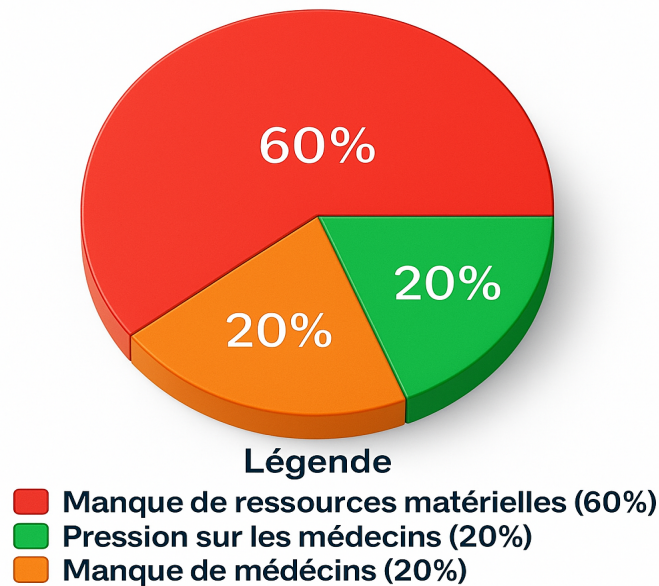


FIGURE 3.9 – Résultats de l'enquête pour les professionnels de santé

Les résultats obtenus sont représentés sous forme de diagramme circulaire, illustrant les principales difficultés relevées par les répondants. Il ressort que **60 %** d'entre eux considèrent le manque de ressources comme un problème majeur, tandis que **20 %** soulignent une pression élevée sur les médecins. Enfin, **20 %** estiment que le déficit en personnel médical constitue un facteur aggravant de la situation.

3.12 Position du problème

Les citoyens algériens ont le droit d'accéder aux soins de santé et de satisfaire leurs besoins par le système hospitalier le plus efficacement possible. La satisfaction de ces besoins dépend des possibilités de traitement en utilisant les ressources disponibles (médecins, infirmiers, lits). En raison du statut socio-économique médiocre de la population, la majorité des citoyens ont recours au traitement dans les hôpitaux publics. Cela accroît la pression sur les hôpitaux, en particulier sur le service des urgences, et cette pression augmente pendant les périodes de maladies infectieuses telles que les rhumes, ce qui affecte l'hôpital et les patients. Le patient a le droit de recevoir des soins appropriés et de bénéficier d'un lit, d'un médecin et d'une infirmière, mais ces ressources ne suffisent pas à couvrir les besoins des patients qui viennent au service des urgences, en particulier dans la salle d'observation. Comment répondre à ces besoins ?

3.13 Modèle Proposé

3.13.1 Nomenclature du modèle

Dans cette étude, nous proposons un modèle mathématique pour optimiser l'utilisation des ressources dans le service des urgences en visant à minimiser l'utilisation des ressources, tout en main-

tenant une qualité de service appropriée pour les patients.

Indices et ensemble

- $i \in I = \{1, 2, \dots, I\}$: indice des types de ressources (médecin, lit, infirmier).
- $j \in J = \{1, 2, \dots, J\}$: indice des patients.
- $k \in K = \{1, 2, \dots, K\}$: indice des étapes de traitement.
- h : indice des périodes temporelles dans une journée, avec $h \in \{1, 2, 3\}$ correspondant respectivement à la matinée, l'après-midi et la soirée.

Paramètres

- C_i : Capacité maximale de la ressource i dans les urgences .
- $A_{i,j,k}$: paramètre binaire indiquant si le patient j a besoin de la ressource i à l'étape k :

$$A_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & \text{si la ressource } i \text{ est requise pour le patient } j \text{ à l'étape } k \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

- L_{max} : Nombre maximal de lits disponibles.
- M_{max} : Nombre maximal de médecins disponibles.
- I_{max} : Nombre maximal d'infirmiers disponibles.
- $T_{max}(g_j)$: Temps d'attente maximal toléré pour un patient de gravité g_j .
- g_j : degré de gravité du patient j , prenant quatre valeurs discrètes :

$$g_j \in \{1, 2, 3, 4\}$$

- $t_{i,j,k}$: Temps d'attente du patient j avec la ressource i à l'étape k .

Variables de décision

- $x_{i,j,k}$ = Variable binaire d'allocation des ressources, définie comme suit :

$$x_{i,j,k} = \begin{cases} 1 & \text{Si la ressource } i \text{ est affectée au patient } j \text{ à l'étape } k. \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

$x_{i,j,k}$: Cette variable vaut **1** si une ressource (médecins, lits ou infirmiers) est allouée au patient à une étape donnée (enregistrement, triage, hospitalisation, traitement), et **0** sinon.

Fonction objectif

Minimiser l'utilisatin totale des ressources :

$$\min Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K A_{i,j,k} \cdot x_{i,j,k} \quad (3.1)$$

La fonction (3.1) est une fonction objectif pour un problème d'optimisation linéaire dont le but est d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles dans le service des urgences, c'est-à-dire de minimiser leur utilisation tout en satisfaisant les patients. Elle permet de savoir si le patient j a besoin de la ressource i à l'étape k .

Les contraintes

- Respect de la capacité des ressources disponibles

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K A_{i,j,k} \cdot x_{i,j,k} \leq C_i \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (3.2)$$

Cette contrainte indique clairement que nous devons respecter la capacité des ressources disponibles lits, médecins et infirmières pour traiter la maladie.

- Affectation des ressources

$$\sum_{i=1}^I A_{i,j,k} \cdot x_{i,j,k} \geq 1, \quad \forall j \in \mathcal{J}, \forall k \in \mathcal{K} \quad (3.3)$$

Contrainte(3.3) signifie que chaque patient a droit à au moins une ressource à chaque étape.

- Limite du nombre maximal de médecins disponibles

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K A_{1,j,k} \cdot x_{1,j,k} \leq M_{\max}, \quad \forall j \in \mathcal{J} \quad (3.4)$$

- Limite du nombre maximal de lits disponibles

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K A_{2,j,k} \cdot x_{2,j,k} \leq L_{\max}, \quad \forall j \in \mathcal{J} \quad (3.5)$$

- Limite du nombre maximal de infirmiers disponibles

$$\sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^M A_{3,j,k} \cdot x_{3,j,k} \leq I_{\max}, \quad \forall j \in \mathcal{J} \quad (3.6)$$

- Respect du temps d'attente maximal selon la gravité du patientt.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K t_{i,j,k} \cdot x_{i,j,k} \leq T_{\max} \quad (3.7)$$

Cette contrainte assure que le temps d'attente total pour tous les patients ne dépasse pas un seuil maximal T_{\max} .

— Respect de la priorité en fonction de la gravité du patient .

$$\sum_{k=1}^K x_{i,j_1,k} \geq \sum_{k=1}^K x_{i,j_2,k}, \quad \text{si } g_{j_1} > g_{j_2} \quad (3.8)$$

Cette contrainte impose que les patients ayant une gravité plus élevée ($g_{j_1} > g_{j_2}$) reçoivent les ressources avant ceux ayant une gravité plus faible .

Remarque sur le type de modèle

Il s'agit d'un modèle de programmation linéaire en nombres entiers (**PLNE**), où les variables de décision binaire :

$$x_{i,j,k} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K.$$

Ce modèle permet de minimiser l'utilisation totale des ressources dans un service des urgences, tout en respectant les contraintes de capacité, de temps d'attente, et de priorité selon la gravité des patients.

3.14 Conclusion

L'étude de cas sur l'allocation des ressources met en évidence le rôle essentiel que jouent les modèles mathématiques dans le soutien aux décisions de planification et de gestion, en particulier dans les environnements confrontés à des défis liés à la perception des ressources, ou à une forte pression sur l'utilisation des ressources. Ces modèles sont utilisés pour analyser et allouer les ressources de manière rationnelle et efficace, en veillant à ce que les objectifs souhaités soient atteints au coût le plus bas possible et que la méthodologie permette de maximiser l'utilisation des ressources disponibles.

Chapitre 4

Algorithme, Analyse, Interprétation et Discussion

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'étude réalisée à l'aide du logiciel **Matlab**, où trois algorithmes ont été proposées dans le but d'améliorer la performance du système de soins de santé au sein du service d'hospitalisation. **Le premier algorithme** vise à assurer une répartition optimale des ressources (Infirmiers, médecins et lits)à travers les différents étapes du traitement, afin de garantir une distribution équitable et de réduire la pression exercée sur le personnel médical. **Le deuxième algorithme** se concentre sur la détermination du nombre maximal de patients pouvant être pris en charge avec les ressources disponibles, sans dépasser les capacités du système. **Le troisième algorithme** permet d'organiser et de définir le temps que chaque patient doit passer à chaque étape du traitement en tenant compte de son niveau de gravité. Les modèles ont été résolus à l'aide de la fonction `intlinprog` de Matlab et les résultats ont été présentés et analysés à l'aide de tableaux et de graphiques dans le but d'optimiser l'organisation et le fonctionnement du service des urgences.

4.2 Algorithmes

Voici trois algorithmes différentes, implémentées à l'aide de Matlab, afin de trouver une solution efficace au problème proposé.

4.2.1 Algorithme d'allocation des ressources

Algorithm 1 Résolution du modèle d'allocation des ressources aux urgences

Données d'entrée: $A(i, j, k)$: matrice binaire des besoins en ressources.

$C(i)$: capacité quotidienne disponible pour la ressource i .

$M_{\max}, L_{\max}, I_{\max}$: limites globales des ressources.

$g_J(j)$: gravité du patient j .

$T_{\max}(g_J)$: temps d'attente maximal toléré pour un patient de gravité g_J .

$t(i, j, k)$: temps d'attente du patient j avec la ressource i à l'étape k .

Données de sortie: Solution optimale d'affectation $x(i, j, k)$, valeur de la fonction objectif **fval**, indicateur de sortie **exitflag**, information de sortie **output**.

- 1 Initialiser les paramètres I, J, K (nombres de ressources, patients, étapes), h =indice des périodes temporelles.
 - 2 Initialiser le modèle de programmation linéaire entière
Définir les variables binaires $x(i, j, k) \in \{0, 1\}$
 - 3 Définir la fonction objectif :
$$f_{\text{obj}} \leftarrow \sum_{i,j,k} A(i, j, k) \cdot x(i, j, k)$$
 - 4 **for** chaque ressource i **do**
 - 5 Ajouter la contrainte de capacité quotidienne :

$$\sum_{j,k} A(i, j, k) \cdot x(i, j, k) \leq C(i)$$
 - 6 **for** chaque patient j et étape k **do**
 - 7 Ajouter la contrainte d'allocation minimale :

$$\sum_i A(i, j, k) \cdot x(i, j, k) \geq 1$$
 - 8 Ajouter les contraintes globales :

$$\sum_{j,k} A(1, j, k) \cdot x(1, j, k) \leq M_{\max}$$

$$\sum_{j,k} A(2, j, k) \cdot x(2, j, k) \leq L_{\max}$$

$$\sum_{j,k} A(3, j, k) \cdot x(3, j, k) \leq I_{\max}$$
 - 9
$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K t_{i,j,k} \cdot x_{i,j,k} \leq T_{\max}$$

$$\sum_{k=1}^K x_{i,j_1,k} \geq \sum_{k=1}^K x_{i,j_2,k}, \quad \text{si } g_{j_1} > g_{j_2}$$
 - 10 Résoudre le problème avec **Solve(problem)** ou **intlinprog** . Retourner la solution optimale et la valeur de la fonction objectif **fval**, indicateur de sortie **exitflag**, information de sortie **output**.
-

4.2.2 Algorithme d'analyse temporelle

Algorithm 2 Calcul des temps et files d'attente dans un service d'urgence hospitalier

Initialisation :

```

I ← 3;           // Nombre de ressources (Médecins, Infirmiers, Lits)
J ← 20;         // Nombre de patients
K ← 6;         // Nombre d'étapes
Définir la matrice des besoins en ressources A[i, j, k]; // Matrice 3D
Définir le vecteur des gravités gJ[j]; // valeurs entre 1 et 4
Définir la matrice time_needed[i, k]; // Temps standard par ressource et
étape
    
```

for i ← 1 to I do

for j ← 1 to J do

for k ← 1 to K do

```

    factor ← 1 + 0.2 × (gJ[j] - 1)
    time_per_patient[i, j, k] ← time_needed[i, k] ×
    factor × A[i, j, k]
    
```

Calcul du temps total par ressource et étape : for i ← 1 to I do

for k ← 1 to K do

```

    total_time[i, k] ← ∑j=1J time_per_patient[i, j, k]
    
```

Calcul du temps d'attente moyen W_q selon M/M/1 pour chaque gravité : for g ← 1 to 4 do

Définir λ et μ pour la gravité g **if $\lambda \geq \mu$ then**

```

    Wq ← ∞; // Système instable
    
```

else

```

    Wq ←  $\frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$ 
    
```

Afficher W_q en minutes

Estimation du temps total requis par étape : for k ← 1 to K do

```

    total_required_time[k] ← nb_patients[k] × standard_time_per_patient[k] // Afficher
    
```

```

    total_required_time[k] en minutes et heures
    
```

4.2.3 Procédure de calcul_max_patients

Entrées :

- I : nombre de types de ressources.
- K : nombre d'étapes.
- L_{max} : nombre maximal de lits.
- M_{max} : nombre maximal de médecins.
- I_{max} : nombre maximal d'infirmiers.

Sorties :

- $max_patients$: nombre maximal de patients traitables.
- J_vals : vecteur des valeurs de patients testées.
- $valid_p$: vecteur indiquant si l'affectation a réussi (1) ou non (0).

Étapes :

1. Initialiser $J_{min} \leftarrow 1, J_{max} \leftarrow 100, max_patients \leftarrow 0$
2. Créer deux vecteurs vides : $J_vals, valid_p$
3. Tant que $J_{min} \leq J_{max}$:
 - Calculer $J \leftarrow \lfloor \frac{J_{min} + J_{max}}{2} \rfloor$
 - Ajouter J à J_vals
 - Calculer $nVars \leftarrow I \times J \times K$
 - Initialiser f comme vecteur de 1 de taille $nVars$
 - Générer une matrice binaire aléatoire $A(i, j, k)$ de taille (I, J, K)
 - Construire les contraintes d'inégalité $A_{ineq} \cdot x \leq b_{ineq}$:
 - Pour chaque i de 1 à I :
 - Créer un vecteur ligne de taille $nVars$
 - Remplir les coefficients correspondants à $A(i, j, k)$
 - Ajouter les lignes à A_{ineq}
 - Définir $b_{ineq} = [L_{max}; M_{max}; I_{max}]$
 - Construire les contraintes d'égalité $A_{eq} \cdot x = b_{eq}$:
 - Pour chaque patient j et chaque étape k :
 - Créer une ligne de taille $nVars$ avec 1 pour chaque ressource (i, j, k)
 - Ajouter la ligne à A_{eq} , et 1 à b_{eq}
 - Résoudre le problème d'optimisation :

$$\min f^T x \quad \text{sous les contraintes définies ci-dessus, avec } x \in \{0, 1\}^{nVars}$$

- Si le solveur retourne une solution faisable ($exitflag = 1$) :
 - Ajouter 1 à $valid_p$
 - Mettre à jour $max_patients \leftarrow J$
 - Mettre à jour $J_{min} \leftarrow J + 1$
 - Sinon :
 - Ajouter 0 à $valid_p$
 - Mettre à jour $J_{max} \leftarrow J - 1$
4. Retourner ($max_patients, J_vals, valid_p$)

4.2.4 Implémentation sur Matlab

MATLAB a été utilisé pour résoudre ces algorithmes :

Le premier algorithme vise à allouer les ressources disponibles à chaque patient en fonction de ses besoins et à chaque étape du traitement. L'algorithme s'appuie sur une matrice tridimensionnelle qui montre les besoins réels de chaque patient, ce qui permet de prendre une décision sur l'allocation optimale. La fonction **solve** a été utilisé pour résoudre ce modèle.

Dans le second algorithme, le temps de service et d'attente à chaque étape du traitement du patient a été minimisé. Des matrices tridimensionnelle ont été utilisées pour représenter les besoins en ressources de chaque patient (médecins, infirmiers, lits) à chaque étape, et un modèle de file d'attente a été inclus pour calculer le temps d'attente prévu sur la base des taux d'arrivée et des taux de service pour chaque niveau de gravité, et a été résolu à l'aide de calculs itératifs et de matrices pour analyser et diagnostiquer le temps d'utilisation des ressources pour chaque étape.

Dans le troisième algorithme, le nombre maximum de patients à traiter a été calculé en tenant compte des ressources disponibles en tant que contraintes, et **intlinprog** a été utilisé pour résoudre ce modèle.

4.3 Analyse et discussion des résultats

Dans ce section, nous présentons un ensemble de tableaux et de figures qui analysent les résultats obtenus.

4.3.1 Résultats de l'affectation des ressources

Patient	Méthode Proposée1	Méthode Proposée2	Écart	Taux M.P1 (%)	Taux M.P2 (%)
1	6	2	-4	25%	8.4%
2	6	4	-2	25%	16.7%
3	6	3	-3	25%	12.5%
4	6	4	-2	25%	16.7%
5	6	2	-4	25%	8.4%
6	6	3	-3	25%	12.5%
7	6	4	-2	25%	16.7%
8	6	2	-4	25%	8.4%
9	6	2	-4	25%	8.4%
10	6	3	-3	25%	12.5%
11	6	2	-4	25%	8.4%
12	6	3	-3	25%	12.5%
13	6	3	-3	25%	12.5%
14	6	3	-3	25%	12.5%
15	6	1	-5	25%	4.2%
16	6	3	-3	25%	12.5%
17	6	2	-4	25%	8.4%
18	6	3	-3	25%	12.5%
19	6	3	-3	25%	12.5%
20	6	2	-4	25%	8.4%
				Total : 25%	Total : 10.73%

TABLE 4.1 – Comparaison du nombre de ressources utilisées par patient (sur 3 ressources)

Les résultats du tableau représentent une étude menée sur 20 patients selon deux méthodes différentes, dans **Matlab**. Les deux méthodes visent à minimiser l'utilisation des ressources, dans le service des urgences. Dans la première méthode, nous avons supposé que tous les patients ont besoin de toutes les ressources à toutes les étapes, et pris en compte uniquement la capacité des ressources, où le nombre total de ressources est de **24**. Et cela a abouti à une distribution équitable des res-

sources, où 20 ressources ont été utilisées dans tous les étapes [4.1], et 6 représentant les ressources utilisées à plusieurs étapes tels que :les médecins et les infirmières où la solution a été obtenue en **0.02 secondes** dans Matlab. En ce qui concerne la deuxième méthode, nous avons restreint la solution pour tenir compte de la gravité des patients, et déterminé une matrice précise des besoins des patients. Cette méthode a donné de meilleurs résultats dans le cas de patients de gravité différente, car le tableau montre une réduction de l'utilisation des ressources de **10.73%** au lieu de **25%**.

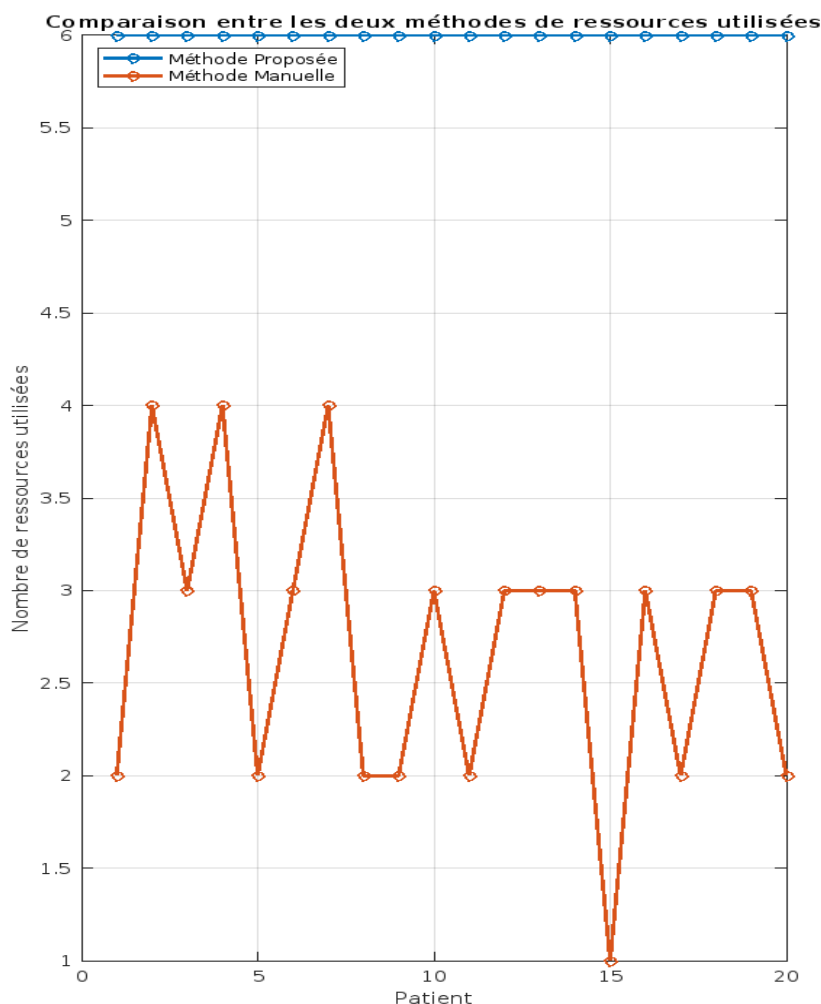


FIGURE 4.1 – Comparaison entre les deux méthodes de ressources utilisées

Patient	Médecins						Lits						Infirmiers					
	É1	É2	É3	É4	É5	É6	É1	É2	É3	É4	É5	É6	É1	É2	É3	É4	É5	É6
1		✓															✓	✓
2			✓		✓									✓				✓
3						✓					✓			✓				
4		✓												✓			✓	
5						✓					✓							

6															✓			✓	✓
7		✓				✓												✓	
8										✓									✓
9															✓			✓	✓
10		✓			✓	✓													
11										✓									✓
12			✓							✓					✓				
13		✓				✓												✓	
14			✓												✓			✓	✓
15					✓													✓	
16										✓					✓				✓
17					✓														✓
18															✓			✓	✓
19	✓	✓																✓	
20										✓					✓				

TABLE 4.2 – Répartition et distribution des ressources aux patients à toutes les étapes

Le tableau [4.2] représente la distribution des ressources aux patients à toutes les étapes du traitement, le signe ✓ indique que la ressource a été allouée au patient j.

Patient	Ressource	Besoins	Affectée (manuelle)	Affectée (optimale)	Écart	Couverture (%)	Gravité
Patient 3	Médecin	1	0	1	+1	100	1
	Lit	1	0	1	+1	100	
	Infirmier	1	1	1	0	100	
Patient 5	Médecin	1	1	1	0	100	2
	Lit	1	0	1	+1	100	
	Infirmier	1	0	0	0	0	
Patient 12	Médecin	1	0	1	+1	100	1
	Lit	1	0	1	+1	100	
	Infirmier	1	1	1	0	100	
Patient 8	Médecin	1	1	0	-1	0	2
	Lit	1	0	1	+1	100	
	Infirmier	1	0	1	+1	100	

TABLE 4.3 – Comparaison du taux de couverture des ressources pour 4 patients selon le niveau de gravité

Ce tableau [4.3] représente une comparaison entre deux méthodes d'allocation des ressources : l'allocation manuelle et l'allocation optimale. A travers les valeurs présentées, nous remarquons que le taux de couverture des ressources dans l'allocation optimale, est nettement supérieur à celui de l'allocation manuelle, puisqu'il couvre tous les patients, ce qui est une réponse à la question posée dans le premier chapitre.

	Médecins	Lits	Infirmiers
Étape 1	7	5	8
Étape 2	6	5	9
Étape 3	4	8	8
Étape 4	4	7	9
Étape 5	4	7	9
Étape 6	5	5	10

TABLE 4.4 – Utilisation actuelle et désorganisée des ressources à chaque étape

Le tableau [4.4] représente l'utilisation des ressources dans chaque étape, où presque toutes les ressources (**médecins, lits, infirmiers**) fonctionnent dans toutes les étapes. Un grand nombre de ressources fonctionnent même dans des étapes qui ne le nécessitent pas (par exemple, les lits sont utilisés dans toutes les étapes !). Mais le manque d'organisation dans le service des urgences a conduit les patients, à entrer inutilement dans les salles d'observation, sans que cela soit nécessaire.

Cela indique :

- L'absence d'un protocole clair pour l'allocation des ressources.
- Une utilisation aléatoire et non guidée, entraînant :
- Une pression accrue sur les ressources.
- Une difficulté à contrôler le temps et l'énergie.
- Une probabilité accrue d'attente et d'erreurs médicales.
- Un manque de lits d'hospitalisation.
- Une pression et une fatigue accrues pour les médecins et les infirmières.

	Médecins	Lits	Infirmiers
Étape 1	0	0	0
Étape 2	6	0	9
Étape 3	4	0	0
Étape 4	0	0	0
Étape 5	4	7	9
Étape 6	5	0	10

TABLE 4.5 – Utilisation optimisée et ciblée des ressources selon les besoins réels

Dans ce tableau [4.5], nous avons minimisé l'utilisation des ressources : les ressources ne sont utilisées que dans les étapes nécessaires, et aucune ressource n'est utilisée dans certaines étapes, par exemple dans l'étape (1,4) , ce qui signifie qu'ici il y a besoin d'autres ressources pour faciliter le travail.

Ces résultats montrent qu'il y a une évaluation précise du besoin. La planification est basée sur une évaluation correcte du parcours de traitement du patient.

Réduction de l'utilisation des lits seulement **7 contre 37**, ce qui signifie qu'ils ont été utilisés à leur juste place et seulement dans les cas critiques.

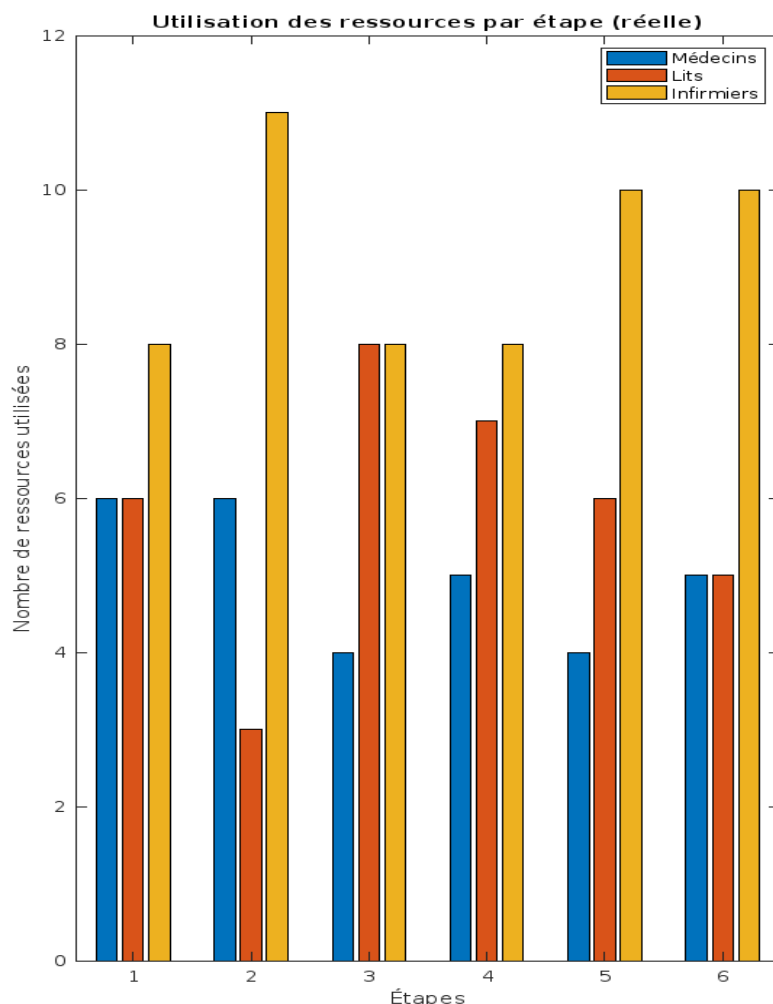


FIGURE 4.2 – Utilisation excessive des ressources à toutes les étapes

La figure [4.2] représente la répartition de l'utilisation des ressources en fonction des étapes du traitement du patient, où nous remarquons une utilisation excessive et presque uniforme des ressources à travers toutes les étapes, ce qui peut indiquer une mauvaise répartition des ressources, ou l'absence d'un mécanisme efficace pour estimer les besoins réels de chaque étape, ce sont des résultats obtenus à partir de Matlab et dans la première méthode de résolution du problème. Les ressources n'ont été réparties qu'uniformément.

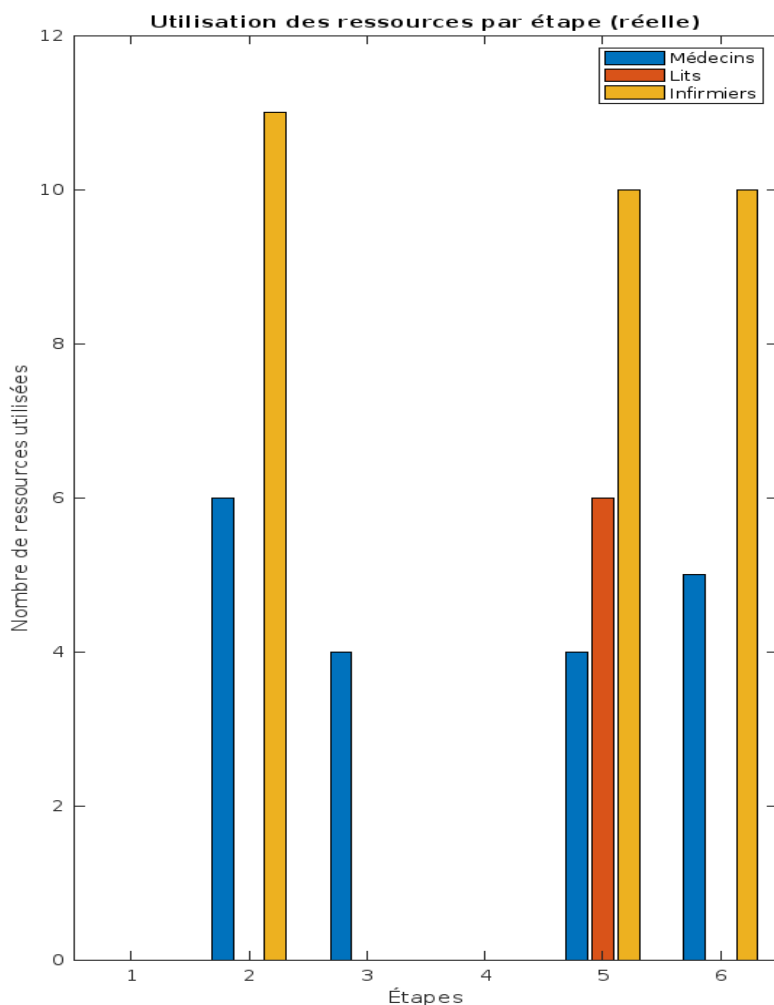


FIGURE 4.3 – Utilisation équilibrée des ressources en fonction des besoins à chaque étape

La figure [4.7b] représente la répartition de l'utilisation des ressources en fonction des étapes du traitement des patients, où l'on remarque une distribution plus équilibrée où le nombre de ressources utilisées varie d'une étape à l'autre, ce qui indique une allocation plus efficace des ressources, en fonction des besoins réels à chaque étape, et c'est ce que l'on observe dans les résultats du tableau. A travers cette figure, il est clair que l'amélioration des mécanismes d'allocation des ressources, peut contribuer à réduire la pression sur le personnel médical, et à améliorer la qualité des soins de santé.

4.3.2 Analyse temporelle par ressource et par étape

Ressource	Étape 1	Étape 2	Étape 3	Étape 4	Étape 5	Étape 6
Médecins	0	1h7min	3h45min	0	4h44min	6h30min
Infirmiers	2h40min	3h45min	0	0	1h44min	4h3min
Lits	0	0	0	0	8h18min	0

TABLE 4.6 – Temps total utilisé par chaque ressource à chaque étape (en heures et minutes)

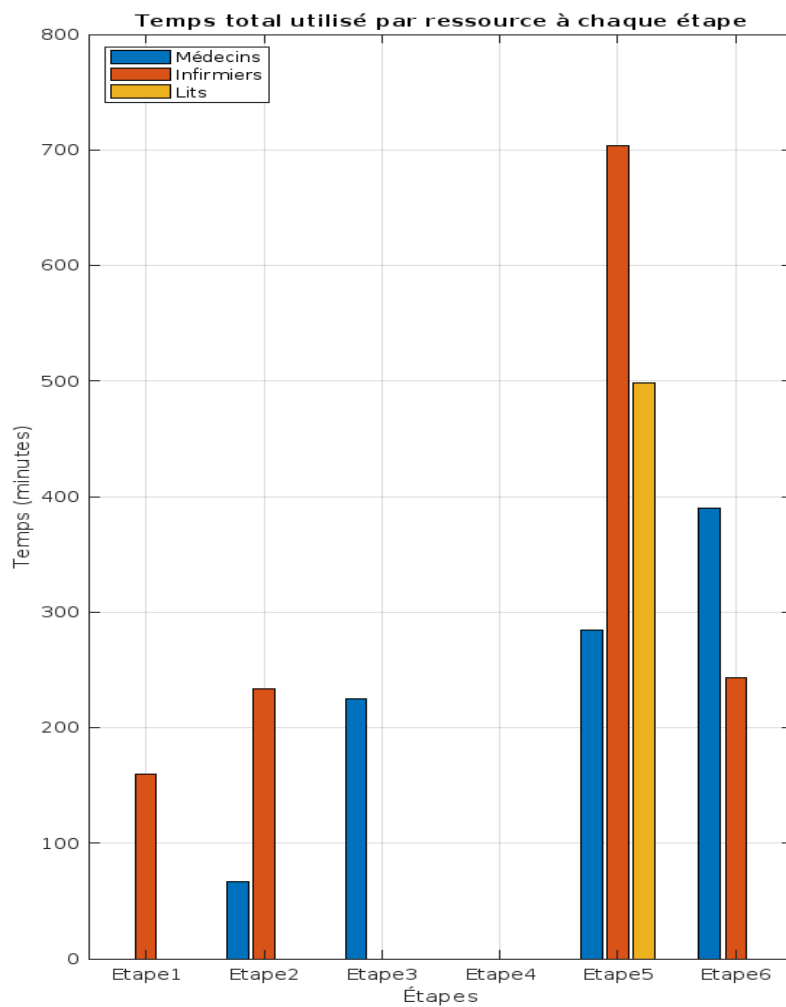


FIGURE 4.4 – Temps total utilisé par ressource à chaque étape

Temps d'attente moyen W_q selon le niveau de gravité

- **Gravité 1** : $W_q = 10,00$ minutes.
- **Gravité 2** : $W_q = 11,43$ minutes.
- **Gravité 3** : $W_q = 12,50$ minutes.
- **Gravité 4** : $W_q = 13,33$ minutes.

A Temps autorisé pour traiter un patient à chaque étape

Étape	Description	Temps autorisé (minutes)
Étape 1	Enregistrement	10
Étape 2	Triage	12
Étape 3	Diagnostic	15
Étape 4	Tests médicaux	20
Étape 5	Hospitalisation	30
Étape 6	Traitement ou orientation	25

TABLE 4.7 – Temps autorisé pour traiter un patient à chaque étape

4.3.3 Évolution du nombre maximal de patients traitables

Le graphique [4.5] représente le nombre de patients entrant dans le système, et le taux de réussite dans l'allocation des ressources. On remarque que le taux de réussite est élevé lorsque le nombre de patients est faible, puis commence à diminuer progressivement lorsque le nombre de patients augmente, ce qui signifie que le système est capable de traiter efficacement un nombre limité de patients. Mais qu'il atteigne les limites de ses capacités lorsqu'il dépasse un certain nombre, à partir de 26 patients, le taux de réussite commence à diminuer, ce qui indique que le nombre de ressources de l'hôpital n'est pas suffisant pour répondre à toutes les demandes, et cela aide à déterminer la capacité maximale pratique du système. Ce type d'analyse est important pour comprendre les faiblesses, et identifier les besoins d'amélioration dans la planification, et la gestion du système, ce qui explique pourquoi le nombre de patients n'est pas suffisant pour répondre à la demande des patients.

X :L'axe représente le nombre de patients testés.

Y :Il représente le résultat du test.

1 :Signifie que l'allocation est réussie.

0 :Signifie que l'allocation a échoué.

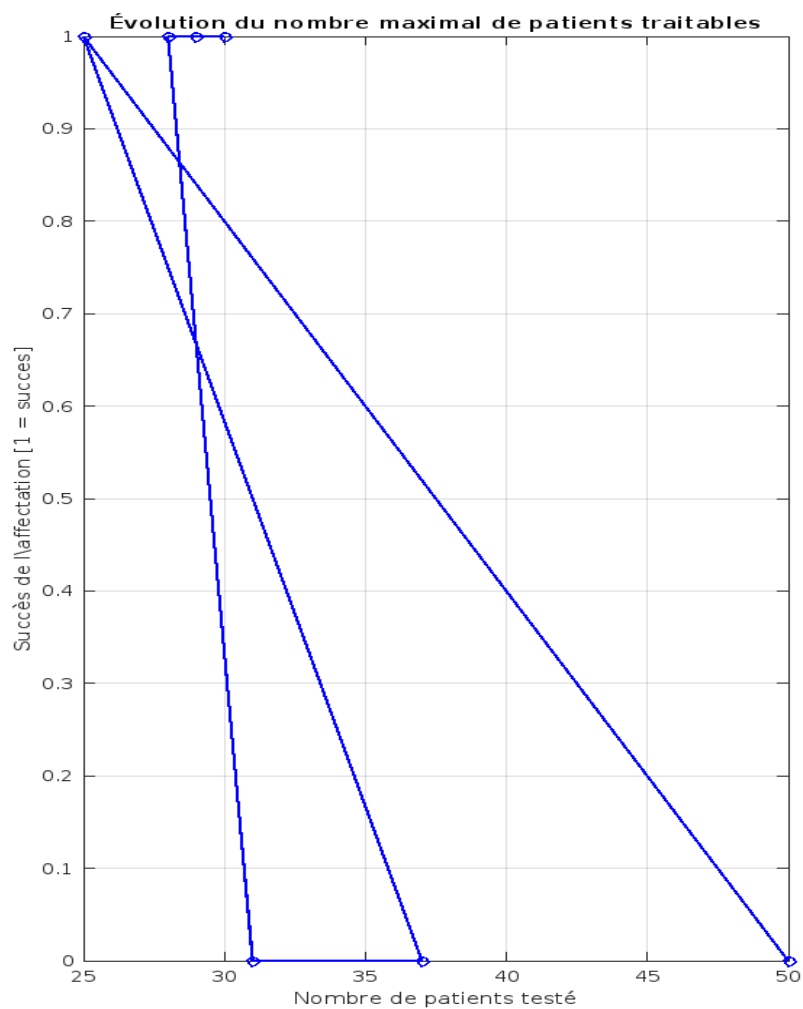


FIGURE 4.5 – Évolution du nombre maximal de patients traitables

4.4 Organisation visuelle du parcours patient et des ressources

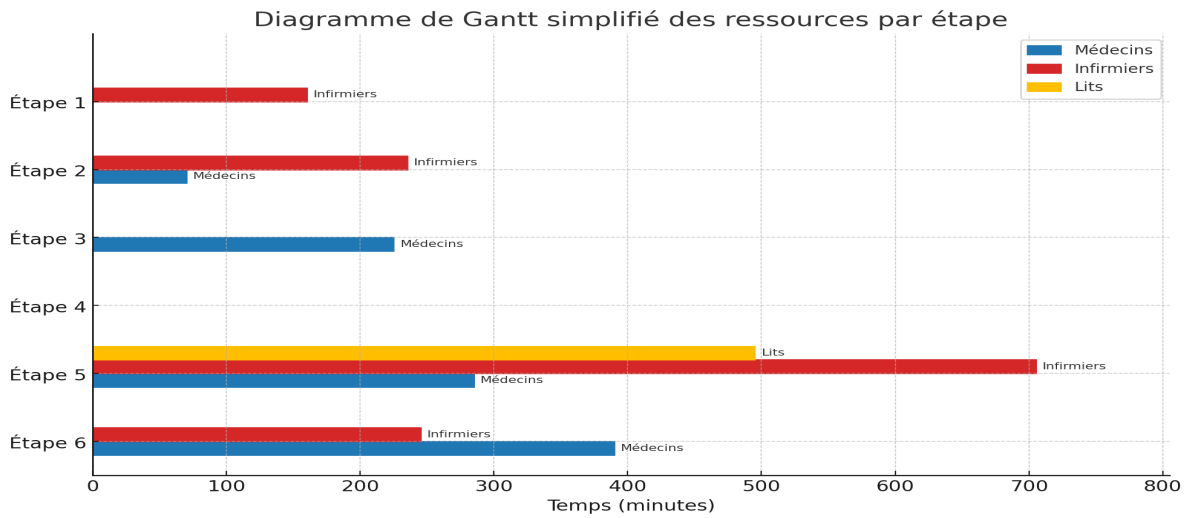


FIGURE 4.6 – Le diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt [4.6], représente la répartition de l'utilisation des ressources (médecins, infirmiers, lits) à travers les six étapes du traitement des patients dans le service des urgences. Ces étapes sont représentées sur l'axe (Les tâches). Chaque barre représente le nombre de minutes dans chaque étape (La durée d'exécution) pour chaque ressource, la couleur rouge représentant les infirmières, la couleur bleue les médecins, et la couleur jaune les lits. Ce graphique permet d'organiser les tâches au sein du service des urgences.

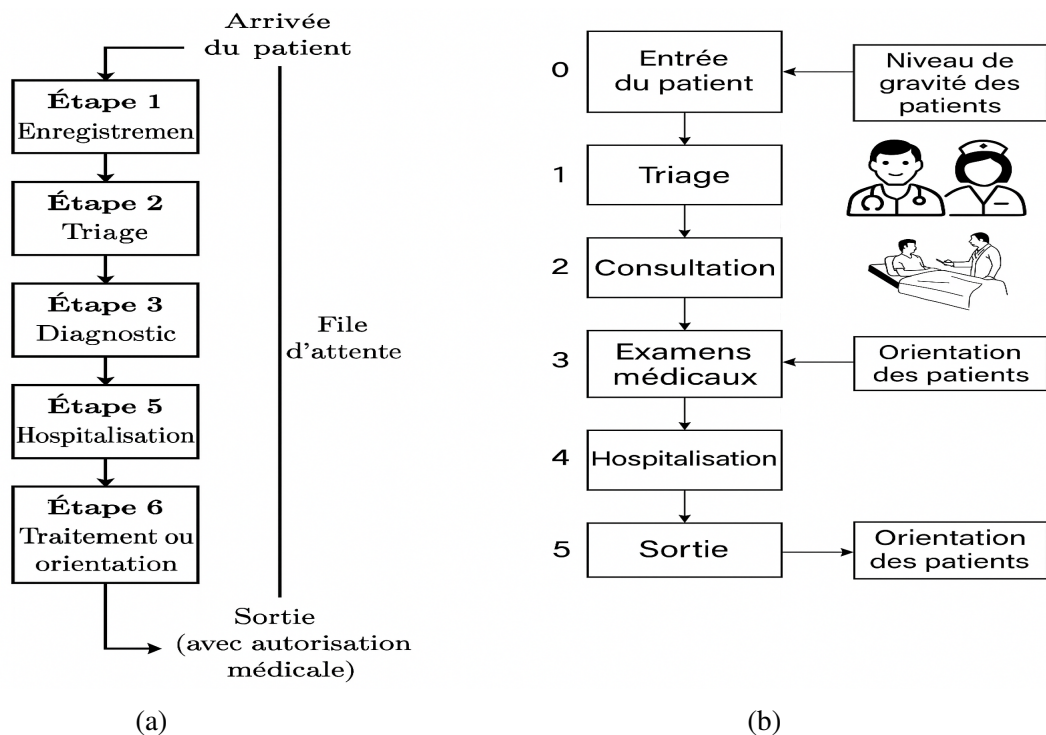


FIGURE 4.7 – Parcours du patient aux urgences hospitalières

Ce schéma [4.7] illustre les étapes clés du parcours d'un patient depuis son arrivée jusqu'à sa sortie autorisée par un médecin. Il met en évidence l'enchaînement des services et l'importance de la coordination pour une prise en charge efficace.

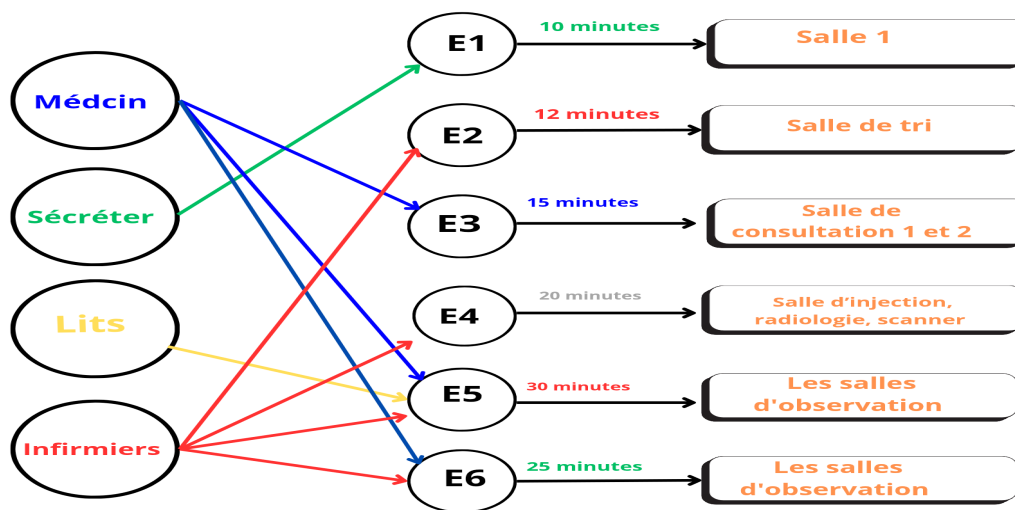


FIGURE 4.8 – Affectation des ressources à chaque étape

Le résultat de la répartition des ressources à toutes les étapes avec une limite de temps pour chaque étape, peut être résumé dans la figure [4.8]. Cette répartition atteint un excellent équilibre, qui réduit la pression sur les médecins et les infirmières et satisfait les patients, c'est pourquoi je propose d'ajouter un crétaire dans le service des urgences de l'hôpital Bouzidi Lakhdar.

4.5 Conclusion

À partir des résultats obtenus, il ressort clairement que l'utilisation d'outils de programmation tels que **Matlab** contribue de manière significative et efficace à l'amélioration de la gestion des ressources au sein du service des urgences, en augmentant l'efficacité de leur répartition et en atteignant un meilleur équilibre entre la qualité des soins et les ressources disponibles.

CONCLUSION GÉNÉRAL

A travers cette étude, nous avons cherché à analyser et à améliorer le processus d'allocation des ressources dans le service des urgences dans le but de réduire les temps d'attente et d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles et l'organisation du travail dans ce service. Le modèle proposé a montré son efficacité pour réduire la pression sur les ressources humaines et matérielles, tout en assurant la priorisation des patients en fonction de la gravité du cas. Le modèle de programmation linéaire en nombres entiers (PNLE) a été utilisé, et sa résolution a été assurée sous MATLAB. Dans des travaux futurs, nous ouvrons le champ de l'étude pour reformuler le modèle dans un cadre multi-objectif et adopter des données provenant de plusieurs hôpitaux et en intégrer des indicateurs dynamiques pour prévoir le flux des patients. Nous espérons que cette modeste contribution ouvre de nouvelles perspectives pour améliorer la performance des établissements de santé, notamment dans des services critiques comme les urgences. Nous espérons également que les travaux futurs aborderont la problématique de l'éloignement géographique entre le patient et l'hôpital, notamment dans les zones dépourvues d'infrastructures sanitaires de proximité, ce qui peut entraîner des retards de prise en charge et parfois même la mort du patient avant son arrivée.

Bibliographie

- [1] Wang, Y. (2023). Research on the queuing theory based on M/M/1 queuing model. Highlights in Science, Engineering and Technology, 61, 81. Peking Academy, Beijing, China.
- [2] Mancel, C. (2004). *Modélisation et résolution de problèmes d'optimisation combinatoire issus d'applications spatiales* (Doctoral dissertation, INSA de Toulouse).
- [3] Di Cesare, N. (2016). *Développement d'une nouvelle méthode métaheuristique pour l'optimisation topologique des structures et des métamatériaux* (Doctoral dissertation, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard).
- [4] Bastin, F. (2010). *Modèles de recherche opérationnelle*. Thèse, Université de Montréal, Canada.
- [5] Allaire, G. (2005). *Analyse numérique et optimisation*. Éditions de l'École polytechnique.
- [6] CHERIF, Nadjma, ADDAD, Rachida et SAAD, Massoud. *Vers l'application du dossier médical électronique dans les établissements de santé algériens*. Revue Algérienne des Sciences Sociales et Humaines.
- [7] Ruegg, A. (1989). Processus stochastiques avec application aux phénomènes d'attente et de fiabilité. Éditions Presses Polytechniques Romandes.
- [8] Ourci, N., & Sakhi, H. (2024). *Analyse d'un système de file d'attente M/M/s avec rappels* (Doctoral dissertation).
- [9] Vass, H., & Szabo, Z. K. (2015). Application of queuing model to patient flow in emergency department. Case study. Procedia Economics and Finance, 32, 479-487.
- [10] Spyros A. Reveliotis. (2006). Real-time management of resource allocation systems : A discrete event systems approach(pp.13-15)
- [11] Chouba, I. (2021). Optimisation des ressources dans les services hospitaliers (Doctoral dissertation, Université de Technologie de Troyes).
- [12] Amédée, S., & Francois-Gérard, R. (2004). 'ALGORITHMES GENETIQUES'. TE de fin d'année.
- [13] Alliot, J. M., & Durand, N. (2005). Algorithmes génétiques. Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne.

- [14] Fouilhoux, P. (2015). *Optimisation combinatoire : Programmation linéaire et algorithmes*. Université Pierre et Marie Curie.
- [15] World Health Organization. (2000). *Rapport sur la santé dans le monde 2000 : pour un système de santé plus performant*. Organisation mondiale de la Santé. Retrieved from <https://iris.who.int/handle/10665/42282>
- [16] Bouguerra, A. (2017). *Optimisation et aide à la décision pour la programmation des opérations électives et urgentes* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- [17] Dr. Baichi. *Organisation sanitaire en algérie*. Université de Batna 2, Faculté de Médecine, 2025. Consulté le 1 février 2025.
- [18] Boyd, S., & Mattingley, J. (2007). Branch and bound methods. Notes for EE364b, Stanford University, 2006, 07.
- [19] Washburn, A. R. (1998). Branch and bound methods for a search problem. *Naval Research Logistics (NRL)*, 45(3), 243-257.
- [20] Chen, T. L. (2014). Decision support system based on distributed simulation optimization for medical resource allocation in emergency department. In *HCI in Business : First International Conference, HCIB 2014, Held as Part of HCI International 2014, Heraklion, Crete, Greece, June 22-27, 2014. Proceedings 1* (pp. 15-24). Springer International Publishing.
- [21] Yeh, J. Y., & Lin, W. S. (2007). Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department. *Expert Systems with Applications*, 32(4), 1073-1083.
- [22] Villeneuve, Y. (2022). *Développement d'une méthode d'optimisation pour la génération des horaires des infirmières afin de minimiser l'absentéisme* (Doctoral dissertation, Université du Québec à Chicoutimi).
- [23] Green, L. (2006). Queueing analysis in healthcare. *Patient flow : reducing delay in healthcare delivery*, 281-307.
- [24] Jlassi, J. (2009). *Amélioration de la performance par la modélisation des flux logistiques des patients dans un service d'urgence hospitalier* (Doctoral dissertation, Université Paris VIII Vincennes-Saint Denis).
- [25] Oudina, S., Baalla, M., Adel-Aissanou, K., & Aïssani, D. *Séminaire Mathématique de Béjaïa (LaMOS) Volume 18, 2020*, pp. 53-64.
- [26] Bojaras, R., & Yothee, Y. (2019). Nurse scheduling model by integer linear programming (A case study : The Fort Sunpasitthiprasong hospital). *Thai Journal of Operations Research : TJOR*, 7(2), 20-29.
- [27] Landsman, D., Ma, H., Knight, J., Gough, K., & Mishra, S. (2019). A flexible integer linear programming formulation for scheduling clinician on-call service in hospitals. *arXiv preprint arXiv :1910.08526*.
- [28] Hamidat, A., & Ines, B. (2021). *Optimisation de l'affectation des infirmiers aux différentes opérations se déroulant dans les salles d'opération*. *Revue RERLED*.

Questionnaire d'évaluation de la gestion des urgences à l'hôpital (BOUZIDI LAKHDAR)

Ce questionnaire a pour but de recueillir des avis sur la gestion du service des urgences, dans le but d'améliorer la qualité des services offerts aux patients. Les informations sont confidentielles et utilisées uniquement à des fins de recherche.

Questions	Réponses
Quels sont les objectifs spécifiques que l'hôpital vise à atteindre dans la gestion des urgences ?	<input type="checkbox"/> Réduction du temps d'attente <input type="checkbox"/> Amélioration de la répartition des ressources
Quels sont les principaux problèmes rencontrés dans la gestion des urgences actuellement ?	<input type="checkbox"/> Surcharge et engorgement <input type="checkbox"/> Gestion des priorités <input type="checkbox"/> Temps d'attente <input type="checkbox"/> Coordination entre services
Quels types de données l'hôpital recueille-t-il sur les urgences ?	<input type="checkbox"/> Temps d'attente <input type="checkbox"/> Nombre de patients <input type="checkbox"/> Types de cas <input type="checkbox"/> Ressources utilisées
Comment évalue-t-on la performance actuelle des services d'urgence ?	<input type="checkbox"/> Bonne <input type="checkbox"/> Moyenne <input type="checkbox"/> Mauvaise
Quels indicateurs sont utilisés ?	
Comment le service des urgences gère-t-il les périodes d'affluence ? Existe-t-il des stratégies spécifiques pour s'adapter aux fluctuations ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
Comment les différents services de l'hôpital collaborent-ils pour la gestion des urgences (ex. : radiologie, laboratoire) ?	
Existe-t-il des systèmes numériques pour la gestion des flux ou l'allocation des ressources ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, quel est le système utilisé ?
Y a-t-il des difficultés concernant la disponibilité et la répartition des ressources humaines (médecins, infirmiers) ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
Y a-t-il des enquêtes ou des retours d'expérience des patients sur leur passage aux urgences ?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non

إستبيان تقييم إدارة الطوارئ في المستشفى (بوزيدي لخضر)

عزيزي المريض، نشكرك على تخصيص وقتك للإجابة على هذا الاستبيان. نسعى دائماً لتحسين جودة خدمات الطوارئ في المستشفى من خلال التعرف على آرائك وتجربتك. جميع الإجابات ستكون سرية وتستخدم لأغراض تحسين الجودة فقط.

معلومات عامة:	
العمر:	<input type="checkbox"/> أقل من 18 سنة <input type="checkbox"/> 18-30 سنة <input type="checkbox"/> 31-50 سنة <input type="checkbox"/> أكبر من 50 سنة
الجنس:	<input type="checkbox"/> ذكر <input type="checkbox"/> أنثى
هل زرت قسم الطوارئ من قبل؟	<input type="checkbox"/> نعم <input type="checkbox"/> لا
سبب زيارتك لقسم الطوارئ:	<input type="checkbox"/> حالة طارئة <input type="checkbox"/> استشارة طبية عاجلة <input type="checkbox"/> حادث/إصابة
تقييم الخدمات المقدمة:	
كم استغرقت عملية استقبال حالتك في الطوارئ؟	<input type="checkbox"/> أقل من 10 دقائق <input type="checkbox"/> 10-30 دقيقة <input type="checkbox"/> أكثر من 30 دقيقة
هل كنت راضياً عن سرعة الاستجابة؟	<input type="checkbox"/> نعم، بشكل كبير <input type="checkbox"/> نعم، إلى حد ما <input type="checkbox"/> لا
جودة العناية الطبية:	
كيف تقيم اهتمام الطاقم الطبي بحالتك؟	<input type="checkbox"/> ممتاز <input type="checkbox"/> جيد <input type="checkbox"/> مقبول <input type="checkbox"/> ضعيف
هل كان الطاقم الإداري متعاوناً وسريعاً في إنهاء الإجراءات؟	<input type="checkbox"/> نعم <input type="checkbox"/> لا
رضا المريض العام:	
بشكل عام، كيف تقيم تجربتك في قسم الطوارئ؟	<input type="checkbox"/> ممتاز <input type="checkbox"/> جيد <input type="checkbox"/> مقبول <input type="checkbox"/> ضعيف
هل تنصح الآخرين بالتوجه لهذا المستشفى في حالات الطوارئ؟	<input type="checkbox"/> نعم <input type="checkbox"/> لا
هل لديك أي اقتراحات لتحسين خدمات الطوارئ؟	

Ce questionnaire m'a grandement aidé à identifier précisément le problème.

J'ai interrogé des patients et des membres du personnel administratif

à l'hôpital Bouzidi Lakhdar ainsi qu'à la clinique privée Ziraïbi, afin de comparer la situation entre les deux établissements et d'observer les différences.