



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la
Communication
Département d'Informatique et Technologie de l'Information

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Informatique
Spécialité : Informatique fondamentale

Développement d'une Approche Prédictive pour la Gestion d'une banque de Sang

Présenté par :

Tidjani Fatma Zahra

Soutenu le :

12/06/2025

Membres du jury :

Saadi wafaa Président MAA UKM Ouargla

Benkherourou Chafika Encadreur MAA UKM Ouargla.

Mezati Messaoud Examineur MCB UKM Ouargla

Année universitaire : 2024/2025

REMERCIEMENTS

Louange à Dieu, par Sa grâce les bonnes œuvres s'accomplissent. Que la paix et la bénédiction soient sur Son noble Prophète, ainsi que sur sa famille et ses compagnons.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui m'ont soutenue et accompagnée tout au long de mon parcours académique, et qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

J'adresse mes remerciements en premier lieu à mon père bien-aimé, pilier de ma vie, pour son soutien constant, ses sacrifices et ses encouragements inépuisables.

À ma chère mère, source d'amour et de tendresse, dont les prières et la présence bienveillante ont toujours été un refuge et une force dans les moments difficiles.

À mes frères et sœurs, pour leur soutien indéfectible et leur présence chaleureuse, qui ont constitué pour moi un véritable rempart face aux épreuves.

Je tiens également à adresser mes plus sincères remerciements à Madame BENKHEROUROU Chafika, ma directrice de mémoire, pour sa patience, ses précieux conseils, et son encadrement tout au long de ce projet. Son expertise et sa bienveillance ont été d'une grande valeur dans la réalisation de ce travail.

Enfin, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant pour m'avoir permis d'arriver à ce stade, et je Lui demande de continuer à m'éclairer et à me guider sur le chemin du savoir et de la réussite.

Résumé

Notre mémoire se base sur l'étude intitulée «Développement d'une Approche Prédictive pour la Gestion d'une banque de Sang», qui propose une solution innovante pour améliorer la gestion des stocks de sang à Ouargla à l'aide de l'intelligence artificielle. Le système développé combine des algorithmes avancés (LSTM, régression polynomiale et apprentissage par renforcement) afin de prédire les besoins futurs en sang, réduire le gaspillage et améliorer la réactivité en cas d'urgence. Une plateforme web intégrée a été développée avec le framework Django pour faciliter l'interaction entre donneurs, patients et gestionnaires, tout en assurant un suivi en temps réel des stocks. Les résultats ont montré une précision de prédiction atteignant 95% et une réduction significative des cas de pénurie, variant entre 70% et 30%. Ce projet met en évidence l'importance de la numérisation dans les systèmes de santé et ouvre la voie vers une gestion plus efficace des ressources sanguines.

Mots-clés : Intelligence artificielle, gestion des stocks, prévision, LSTM, régression polynomiale, apprentissage par renforcement, santé numérique, pénurie sanguine.

الملخص

يرتكز هذا البحث على دراسة بعنوان «تطوير مقاربة تنبؤية لإدارة بنك الدم»، والتي تقترح حلاً مبتكراً لتحسين إدارة مخزون الدم في ورقلة باستخدام الذكاء الاصطناعي. يعتمد النظام المطور على دمج خوارزميات متقدمة مثل LSTM، والانحدار المتعدد الحدود، والتعلم المعزز، بهدف التنبؤ بالاحتياجات المستقبلية من الدم، والحد من الهدر، وتحسين سرعة الاستجابة في حالات الطوارئ. تم تطوير منصة ويب متكاملة باستخدام إطار العمل Django لتسهيل التفاعل بين المتبرعين والمرضى والمسؤولين، مع ضمان متابعة فورية لمستويات المخزون. أظهرت النتائج دقة تنبؤ بلغت 95% وانخفاضاً ملحوظاً في حالات النقص، تراوح بين 30% و 70% يبرز هذا المشروع أهمية الرقمنة في أنظمة الرعاية الصحية ويمهد الطريق نحو إدارة أكثر كفاءة للموارد الدموية.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، إدارة المخزون، التنبؤ، شبكات LSTM، الانحدار متعدد الحدود، التعلم التعزيزي، الصحة الرقمية، نقص الدم.

Abstract

This thesis is based on the study titled «Development of a Predictive Approach for Blood Bank Management», which proposes an innovative solution to improve blood stock management in Ouargla using artificial intelligence. The developed system integrates advanced algorithms such as LSTM, polynomial regression, and reinforcement learning to forecast future blood demand, reduce waste, and enhance emergency response. An integrated web platform was developed using the Django framework to facilitate interaction between donors, patients, and administrators, while ensuring real-time monitoring of blood stocks. The results showed a prediction accuracy

of 95% and a significant reduction in shortage cases, ranging between 70% and 30%. This project highlights the importance of digitalization in healthcare systems and paves the way for more efficient blood resource management.

Keywords: Artificial intelligence, inventory management, forecasting, LSTM, polynomial regression, reinforcement learning, digital health, blood shortage.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	I
Résumé	II
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	X
Liste des abréviations	XI
Introduction générale	1
1 Don du sang et sa gestion	3
1.1 Introduction	3
1.2 Le sang et son importance	3
1.3 Définition des composants du sang et leur importance	4
1.3.1 Plasma	4
1.3.2 Globules rouges	4
1.3.3 Les plaquettes	5
1.3.4 Globules blancs	5
1.4 Définition du don de sang et de ses types	5
1.4.1 Don total de sang	5
1.4.2 Don de plaquettes	5
1.4.3 Don de plasma (plasmaphérese)	6
1.5 L'importance du don de sang et de ses composants	6

1.6	Utilisation du sang et de ses composants	6
1.7	Critères pour faire un don de sang	7
1.8	Compatibilité des groupes sanguins	7
1.9	Le déroulement de la transfusion sanguine	9
1.10	Statistiques de Collecte et stockage dans la banque de sang.....	10
1.11	Périssabilité des produits	12
1.11.1	Durée de conservation des composants sanguins.....	12
1.11.2	Méthodes de conservation et de prolongation de la durée de vie des produits sanguins.....	12
1.12	Comparaison des systèmes de don de sang et de gestion du sang.....	13
1.12.1	Différences entre systèmes traditionnels et modernes de gestion du don de sang	13
1.12.2	Comparaison des politiques de don de sang dans différents pays	13
1.12.3	Comparaison des techniques de prévision des besoins futurs en sang.....	14
1.13	Analyse des recherches antérieures sur le don de sang et la gestion des stocks.	14
1.13.1	Faiblesses des recherches récentes et possibilités d'amélioration.....	15
1.14	Rôle de IA dans l'amélioration de la gestion du don de sang	15
1.14.1	Exemples de systèmes intelligents pour la gestion des stocks:.....	16
1.15	Solutions proposées pour résoudre les problèmes de gestion des stocks.....	16
1.16	Conclusion.....	17
2	Approches comparatives et fondements techniques	18
2.1	Introduction	18
2.2	Présentation du dataset	18
2.2.1	Analyse statistique descriptive du jeu de données	19
2.3	Méthodes d'IA utilisées	21
2.4	Étude comparative des algorithmes	22
2.5	Conclusions sur le choix des algorithmes	24
2.6	Raisons de ne pas choisir d'autres algorithmes.....	25
2.7	Comparaison des modèles de la littérature.....	25

2.8	Conclusion.....	28
3	Etude conceptuelle proposée	29
3.1	Introduction	29
3.2	Phase d'analyse.....	29
3.2.1	Spécification des Besoins	29
3.2.2	Définition des acteurs et actions	30
3.2.3	Présentation des acteurs et actions	30
3.3	Langage de Modélisation Unifié (UML)	31
3.3.1	Définition:.....	31
3.3.2	Diagrammes d'UML:.....	31
3.4	Analyse des besoins:.....	33
3.4.1	L'outil StarUML	33
3.4.2	Diagramme De contexte:	33
3.4.3	Diagrammes utilisés pour l'analyse	34
3.5	Modèle Relationnel :.....	38
3.6	Conclusion.....	39
4	Implémentation et expérimentation	40
4.1	Introduction:	40
4.2	Environnement et Outils	40
4.2.1	Spécifications Matérielles	40
4.2.2	Logiciels et Bibliothèques:.....	40
4.3	Implémentation.....	43
4.3.1	Développement de sites Web avec Django:	43
4.3.2	Développement de systèmes intelligents:.....	46
4.3.3	Expérimentation et Résultats:	52
4.4	Tests	54
4.5	Présentation des interfaces.....	55
4.5.1	site web	56

4.6	Discussion : Analyse des défis et solutions	60
4.7	Conclusion.....	61
Conclusion Générale		62
Annexes		64

Liste des figures

1.1	Les différents composants du sang [1]	4
1.2	Tableau de compatibilité entre les groupes sanguins[2]	8
1.3	prélèvement le déroulement de la transfusion sanguine [3]	9
2.1	Évolution du nombre de dons par mois	20
2.2	Répartition des groupes sanguins.....	20
2.3	Évolution du nombre de dons par mois	21
2.4	Comparaison des algorithmes	24
3.1	L'outil STAR UML.....	33
3.2	Digrammes de contexte	33
3.3	Diagrammes des cas d'utilisation.....	34
3.4	diagramme pour Création d'un donneur	35
3.5	diagramme de réservation de rendez-vous	35
3.6	diagramme pour connexion de l'administrateur.....	36
3.7	diagramme pour Ajouter et Supprimer et Modifier un donneur	36
3.8	diagramme Notification en cas de stock de sang insuffisant.....	37
3.9	Diagramme de classe de notre système	37
4.1	Modèles de données pour les donneurs de sang	43
4.2	Configuration de la base de données dans settings.py	44
4.3	Exemple de views.py	44
4.4	Exemple de urls.py	45
4.5	SMTP Configuration	46

4.6	Nettoyage des données	46
4.7	Ingénierie des caractéristiques	47
4.8	Conversion des données en PyTorch	47
4.9	Construire un modèle LSTM	48
4.10	Entraînement du modèle LSTM.....	48
4.11	Modèle des stocks de sang par régression polynomiale	49
4.12	Conception d'environnement pour Q-Learning	50
4.13	Etats du systeme	50
4.14	Actions possibles	51
4.15	Formation de l'agent.....	51
4.16	Principaux résultats du modèle de régression polynomiale (3e degré)	54
4.17	Page d'accueil.....	56
4.18	Page d'inscription des donateurs	57
4.19	Prendre rendez-vous	57
4.20	Page connexion de administrateur	58
4.21	Page gestion des donateurs	58
4.22	Page gestion des donateurs	58
4.23	Suivi du stock de sang par groupe sanguin.....	59
4.24	Page d'accueil du système	59
4.25	Page d'accueil du système	60
4.26	Page d'accueil du système	60

Liste des tableaux

1.1	Durée de conservation des composants sanguins.....	12
3.1	Représentation des besoins fonctionnels.....	30
3.2	Acteurs du système et actions correspondantes	31
4.1	Description des tables principales de la base de données	45

Liste des abréviations

- IA : *Intelligence Artificielle*
- LSTM : *Long Short-Term Memory (Réseau de neurones récurrent à mémoire à long terme)*
- ARIMA : *AutoRegressive Integrated Moving Average*
- MSE : *Mean Squared Error (Erreur Quadratique Moyenne)*
- RMSE : *Root Mean Squared Error (Racine de l'Erreur Quadratique Moyenne)*
- R^2 : *Coefficient de Détermination*
- UML : *Unified Modeling Language (Langage de Modélisation Unifié)*
- CSS : *Cascading Style Sheets*
- HTML : *HyperText Markup Language*
- SMTP : *Simple Mail Transfer Protocol*
- FIFO : *First In, First Out (Premier Entré, Premier Sorti)*
- CTS : *Centre de Transfusion Sanguine*
- XAMPP : *Cross-platform Apache MySQL PHP Perl*

Introduction générale

La gestion efficace des stocks de sang constitue un enjeu majeur dans le secteur de la santé, notamment face à l'augmentation continue des besoins hospitaliers. Chaque jour, de nombreux patients nécessitent des transfusions sanguines, que ce soit à la suite d'accidents, d'interventions chirurgicales ou en raison de maladies chroniques. Une évaluation imprécise des besoins ou une mauvaise gestion des stocks peut entraîner des conséquences graves, mettant parfois en péril la vie des patients.

Dans ce contexte, ce projet vise à concevoir un système intelligent s'appuyant sur les avancées récentes de l'intelligence artificielle, en particulier l'apprentissage automatique, afin d'optimiser à la fois la prévision des besoins et la gestion des stocks de sang. L'objectif principal est de garantir la disponibilité des quantités adéquates de sang en temps voulu, tout en évitant les ruptures de stock ou les excédents inutiles. Ce système constitue également un outil d'aide à la décision destiné aux professionnels de santé, leur offrant des analyses précises basées sur les données historiques, l'identification des tendances, et une capacité à anticiper les variations de la demande.

Le projet repose sur trois axes fondamentaux :

- **Prévision des besoins:** à travers l'utilisation de modèles de réseaux de neurones récurrents (LSTM) et de régression polynomiale, les besoins en sang sont estimés de manière proactive en se basant sur des données historiques fiables.
- **Optimisation des stocks:** en intégrant des techniques d'apprentissage par renforcement, le système ajuste dynamiquement les niveaux de stock pour répondre de manière efficace à la demande tout en minimisant le gaspillage.

- **Interface utilisateur**: une plateforme web interactive est développée pour assurer la liaison entre les donneurs, les patients et les centres de transfusion, favorisant ainsi la fluidité des échanges et la réactivité des interventions.

Ce travail propose une approche intégrée, combinant des fondements théoriques solides à une mise en œuvre pratique, afin de relever les défis actuels de la gestion des stocks de sang.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres principaux :

- **Chapitre 1** : Le don de sang et son importance.
- **Chapitre 2** : Fondements techniques et approches comparatives.
- **Chapitre 3** : Etude conceptuelle proposée.
- **Chapitre 4** : Implémentation et expérimentation.

Chapter 1

Don du sang et sa gestion

1.1 Introduction

Dans ce premier chapitre, nous commencerons par donner un aperçu du don de sang et les concepts de base les plus importants en mettant l'accent sur les méthodes modernes de gestion des stocks.

1.2 Le sang et son importance

Le sang, un tissu liquide, circule dans tout le corps par les vaisseaux sanguins. Il est constitué de globules rouges, de globules blancs et de plaquettes immergés dans un liquide appelé plasma. Le sang joue un rôle essentiel dans le transport de l'oxygène, des nutriments, des anticorps et des hormones. Le volume sanguin d'un adulte est d'environ 5 litres, mais ce volume varie en fonction du poids, de la taille et du sexe de chaque individu.

La composition du sang est la suivante :

- 45 % de cellules (globules rouges, globules blancs, plaquettes).
- 55 % de plasma (partie liquide).[4]

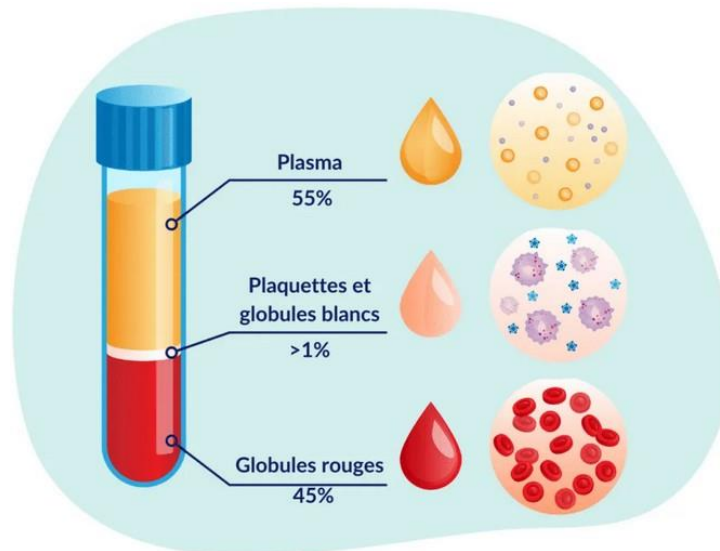


Figure 1.1: Les différents composants du sang [1]

L'importance du sang réside dans son rôle de transport de l'oxygène et du dioxyde de carbone du corps vers les cellules, fournissant des nutriments et des hormones. Il régule le pH, la température corporelle et transporte l'excès de chaleur vers la peau. Le sang offre également une protection contre la perte de sang par coagulation et contient des globules blancs phagocytaires et des protéines plasmatiques spécifiques, notamment des anticorps, des interférons et du complément, qui protègent contre les toxines et les microbes étrangers [5].

1.3 Définition des composants du sang et leur importance

Le sang est constitué de divers composants, chacun ayant un rôle précis indispensable au bon fonctionnement de l'organisme. Voici les composants majeurs du sang et leur importance respective :

1.3.1 Plasma

Le plasma, constituant environ 55 % du volume sanguin, est un liquide aqueux composé de sels, lipides, hormones et protéines comme l'albumine, les immunoglobulines et les facteurs de coagulation. Il assure le transport des cellules sanguines, des nutriments, des hormones et des déchets métaboliques. Il joue également un rôle crucial dans la régulation de la température corporelle, le maintien de l'hydratation et de l'équilibre électrolytique, ainsi que dans la défense immunitaire et la coagulation du sang [6].

1.3.2 Globules rouges

Les érythrocytes (globules rouges), représentant près de 45 % du sang, contiennent de l'hémoglobine, une protéine responsable du transport de l'oxygène des poumons vers les tissus et du CO₂ des

tissus vers les poumons pour son élimination. Une diminution du nombre de globules rouges peut entraîner une anémie, caractérisée par une fatigue et une faiblesse accrues [7].

1.3.3 Les plaquettes

Les thrombocytes, ou plaquettes, sont des cellules du sang qui ont une taille inférieure à celle des globules. Elles sont responsables d'aider à la coagulation sanguine et à la cicatrisation des plaies. Elles commencent leur action de coagulation dès qu'un vaisseau sanguin se rompt. Une réduction du nombre de plaquettes peut entraîner des saignements excessifs, tandis qu'un excès peut favoriser la formation de caillots indésirables[7].

1.3.4 Globules blancs

Leucocytes (globules blancs) : Bien qu'ils soient moins présents que les globules rouges, les globules blancs jouent un rôle crucial dans la protection de l'organisme contre les infections. On les classe en différents types tels que les neutrophiles, les lymphocytes et les monocytes, chaque catégorie ayant un rôle distinct dans la réaction immunitaire[7].

1.4 Définition du don de sang et de ses types

C'est une intervention médicale volontaire qui implique le don de sang ou de ses composants d'un individu en bonne santé à une personne malade ayant besoin d'une transfusion sanguine. Cette procédure est réalisée lors d'interventions chirurgicales, d'accidents ou de certaines maladies nécessitant la transfusion de composants sanguins spécifiques, Un échantillon de sang est prélevé dans un récipient médical contenant un anticoagulant, à l'aide d'une aiguille stérile à usage unique insérée dans une veine du bras. Le processus de don de sang prend généralement entre 5 et 10 minutes, période durant laquelle environ 400 à 450 millilitres de sang sont extraits. Cela équivaut à environ 1/12 du volume total de sang chez les adultes, qui varie entre 5 et 6 litres [8].

On note qu'il existe 3 types de don de sang :

1.4.1 Don total de sang

Ce genre de don est le plus courant, où environ 500 ml de sang est collecté, intégrant des globules rouges, du plasma et des plaquettes. Après le don, le sang est séparé en ses composants pour être employé selon les besoins [8].

1.4.2 Don de plaquettes

On récolte les plaquettes sanguines à l'aide d'un dispositif qui les sépare des autres composants du sang, puis on les réadministre au donneur[9].

1.4.3 Don de plasma (plasmaphérese)

La collecte de plasma est une méthode particulière utilisant une centrifugeuse pour préserver le plasma et renvoyer les autres éléments sanguins (globules rouges, globules blancs, plaquettes). Cette intervention dure 45 minutes et requiert au plus deux prélèvements de plasma par an, sans excéder l'âge de 65 ans [10].

1.5 L'importance du don de sang et de ses composants

Le don de sang présente plusieurs avantages non seulement pour le receveur, mais aussi pour le donneur. En voici quelques-uns :

- Donner du sang régulièrement peut prévenir l'hémochromatose, une maladie causée par une surcharge ou une absorption excessive de fer.
- Le don de sang réduit les réserves de fer dans l'organisme, ce qui peut réduire le stress oxydatif et ainsi réduire le risque de certains types de cancer.
- Un don de sang régulier aide à stabiliser les niveaux de fer, réduisant ainsi le risque de maladies cardiaques et hépatiques telles que malformations cardiaques, crises cardiaques, cirrhose, insuffisance hépatique et lésions pancréatiques.
- Le don de sang peut réduire le poids intestinal, ce qui est particulièrement bénéfique pour les personnes obèses, réduisant ainsi le risque de maladies cardiovasculaires et d'autres problèmes de santé.
- Un don de sang régulier peut aider à surveiller l'état de santé en évaluant la tension artérielle, la tension artérielle et les taux d'hémoglobine.
- Le don de sang améliore également le bien-être mental et émotionnel, augmentant ainsi la satisfaction du donneur [11].

1.6 Utilisation du sang et de ses composants

Chaque élément du sang a une fonction spécifique. Les avancées technologiques et les connaissances actuelles rendent possible la conversion du sang total en ses différentes composantes. Donc, le praticien ne procède à la transfusion que du composant sanguin nécessaire au patient. Nous parvenons donc à optimiser l'usage de ce précieux élément .

- Transfusion de globules rouges : une transfusion de globules rouges est utilisée pour restaurer la masse globulaire du patient suite à une hémorragie due à un accident, ce qui permet d'accroître la capacité de transport de l'oxygène. Une transfusion de globules rouges est aussi utilisée pour soigner l'anémie chronique chez des patients dont la moelle osseuse ne peut pas générer une quantité suffisante de globules rouges.

- Plasma : On utilise le plasma, entre autres, pour rectifier les carences en facteurs de coagulation et pour soigner des chocs résultant de pertes de plasma suite à des brûlures sévères ou des hémorragies massives.
- Plaquettes : Les plaquettes sont des composants essentiels pour la coagulation sanguine. Ainsi, on saisit pleinement leur importance pour les patients atteints de blessures sévères, d'hémorragies majeures, d'aplasie, de leucémie et de cancer. Les plaquettes sont indispensables à leur bien-être et à leur existence [6].

1.7 Critères pour faire un don de sang

Les conditions de don de sang sont établies pour garantir la sécurité du donneur ainsi que celle du receveur. Ces critères sont basés sur des recommandations médicales strictes. Un individu souhaitant donner son sang doit remplir un ensemble d'exigences, dont les principales sont les suivantes :

- Avoir entre 18 et 65 ans.
- Peser au minimum 50 kg.
- Avoir une température corporelle ne dépassant pas 37 °C.
- Présenter une pression artérielle dans les normes : systolique inférieure à 180 mmHg, diastolique inférieure à 100 mmHg, et un pouls situé entre 50 et 100 battements par minute.
- Être en bonne santé générale.
- Ne pas être porteur d'une maladie transmissible.
- Avoir un taux d'hémoglobine adéquat : supérieur à 12 g/dL chez les femmes et à 13 g/dL chez les hommes.
- Respecter un intervalle de minimum huit semaines entre deux dons de sang total. En cas de don par aphérèse, un délai d'au moins 48 heures est requis avant un nouveau prélèvement sur appareil.[12]

1.8 Compatibilité des groupes sanguins

On distingue quatre groupes sanguins majeurs : A, B, AB et O. La compatibilité ou l'incompatibilité entre les groupes sanguins est déterminée par la présence de protéines et de sucres, connus sous le nom d'antigènes, à la surface des globules rouges.

- Les individus appartenant au groupe A ne sont compatibles qu'avec le sang des groupes A et O. Ils ne peuvent pas recevoir de transfusion de sang provenant des groupes B et AB.

- Les individus appartenant au groupe B ne peuvent se faire transfuser que du sang des groupes B et O. Ils ne sont pas en mesure de recevoir du sang des groupes A et AB.
- Les individus appartenant au groupe AB sont compatibles avec tous les types de sang.
- Seules les personnes appartenant au groupe O peuvent recevoir du sang provenant de ce même groupe .[2]

Remarque : Dans la compatibilité des groupes sanguins, il faut prendre en compte le facteur Rhésus comme indiqué sur l'image.

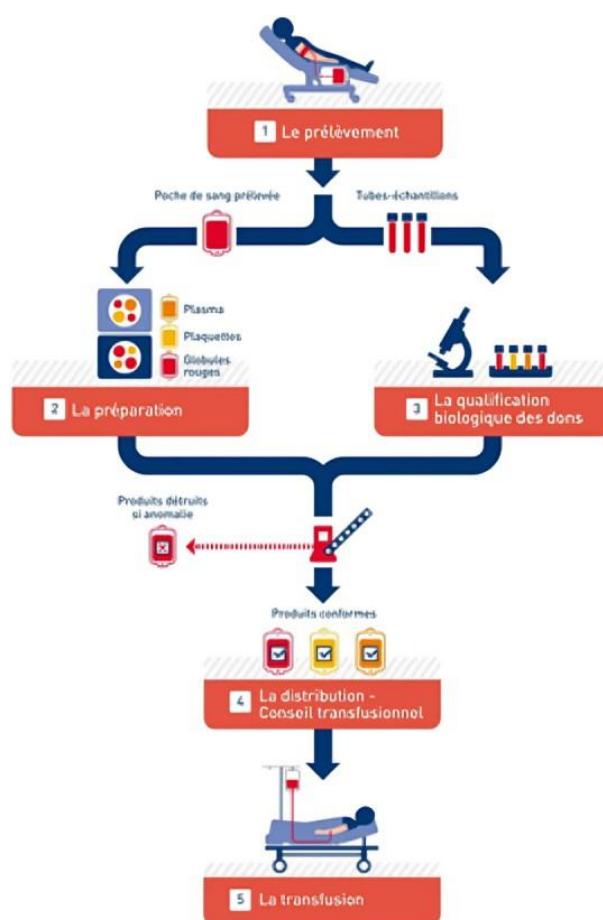
		GROUPE SANGUIN DU DONNEUR							
		O-	O+	B-	B+	A-	A+	AB-	AB+
GROUPE SANGUIN DU RECEVEUR	AB+								
	AB-								
	A+								
	A-								
	B+								
	B-								
	O+								
	O-								

Figure 1.2: Tableau de compatibilité entre les groupes sanguins[2]

1.9 Le déroulement de la transfusion sanguine

Les étapes suivantes résument le déroulement de la transfusion sanguine :

- **Le prélèvement** : Un(e) infirmier(ère) spécialement formé(e) prélève le sang du candidat reconnu apte au don .
- **La préparation des produits** : Une fois le sang prélevé, la poche de sang est centrifugée en trois produits : globules rouges, plaquettes et plasma. Le sang total donné n'est jamais transfusé intact au receveur. Nous ne lui donnons que ce dont il a besoin en fonction de sa pathologie .
- **L'analyse biologique** : En parallèle à la deuxième étape, les échantillons sont testés. Des prélèvements sanguins effectués lors du don sont analysés (tests virologiques, sérologiques, immunologiques). Si une anomalie est détectée, les unités concernées sont directement détruites et le donneur sera prévenu .
- **Validation et distribution** : Une fois que la poche est prête et que l'analyse ne montre aucune anomalie, le produit sanguin peut être distribué .



© STUDIO V2

Figure 1.3: prélèvement le déroulement de la transfusion sanguine [3]

1.10 Statistiques de Collecte et stockage dans la banque de sang

L'Algérie a connu une augmentation significative dans le secteur du don de sang au cours des dernières années, comme le montrent les statistiques qui révèlent une hausse du nombre de donateurs et des quantités de sang collectées. Voici quelques chiffres qui mettent en évidence cette avancée:

Au Niveau National

Année 2018

- Plus de 600 000 poches de sang collectées, soit une augmentation de 3% par rapport à 2017.
- 87% des donateurs étaient des hommes.
- 66% des dons ont été effectués dans des centres fixes contre 34% via des campagnes mobiles[13].

Année 2022

- Augmentation de 5,24% du nombre de donateurs par rapport à 2021.
- 743 477 donateurs enregistrés dans 248 centres de transfusion sanguine à travers le pays [13].

Premier semestre 2023

- 316 119 poches de sang collectées sur 403 599 candidats, soit une augmentation de 6,68% par rapport à la même période en 2022.
- 43% des dons étaient compensatoires.
- 60% des dons ont été réalisés dans des centres fixes, tandis que 31% via des campagnes mobiles [13].

Statistiques du Don de Sang en 2023

- Nombre de centres de transfusion sanguine : 255.
- Nombre de poches collectées : 676 880 (hausse de 6,75% par rapport à 2022).
- Dons dans des centres fixes : 70,86%.
- Dons via des campagnes mobiles : 29,14%.
- Donneurs volontaires : 55,56%.

- Donneurs compensatoires : 44,44%.
- Donneurs masculins : 88,12%.
- Donneuses féminines : 11,88% [13].

Statistiques du Don de Sang en 2024

- Journée maghrébine du don de sang (30 mars 2024) : 11 088 dons.
- Journée mondiale des donneurs de sang (14 juin 2024) : 12 435 dons.
- Journée nationale des donneurs de sang (25 octobre 2024) : 10 755 dons.
- Mois du Ramadan (11 mars - 9 avril 2024) : 44 076 dons [13].

Étude de Cas : Centre de Transfusion de l'Hôpital Mohamed Boudiaf – Ouargla

Une étude a été menée au Centre de transfusion sanguine de l'hôpital Mohamed Boudiaf à Ouargla pour une compréhension plus approfondie de la gestion des stocks de sang en Algérie, et les résultats de l'étude ont abouti à :

- Consommation moyenne de poches de sang par semaine : 65 poches.
- Besoin constant en toutes les groupes sanguins, avec une pénurie notable en groupe AB.
- Nombre de donneurs en 2023 : 5 150.
- Nombre de donneurs en 2024 : 5 900 (augmentation significative).
- Capacité actuelle de la banque de sang : 700 unités de sang disponibles.

Le pourcentage élevé de donneurs compensatoires en Ouargla suggère une dépendance aux donneurs familiaux ou compensatoires, ce qui pourrait affecter la disponibilité et l'équité du sang. Le ministère de la Santé a élaboré une stratégie nationale pour améliorer les services de transfusion sanguine, mais des efforts supplémentaires sont nécessaires pour promouvoir le don volontaire.

1.11 Périissabilité des produits

1.11.1 Durée de conservation des composants sanguins

Le tableau suivant indique la durée de conservation de tous les composants sanguins et les conditions de stockage:

COMPOSANT SANGUIN	TEMPÉRATURE	DURÉE DE STOCKAGE
BOULES ROUGES	+2°C à +6°C	Jusqu'à 42 jours
PLAQUETTES	+20°C à +24°C (Avec agitation continue)	5 à 7 jours
PLASMA	-25°C	Jusqu'à 12 mois

Table 1.1: Durée de conservation des composants sanguins

1.11.2 Méthodes de conservation et de prolongation de la durée de vie des produits sanguins

Pour améliorer la gestion de la banque de sang et le stockage du sang et de ses composants, il est recommandé d'utiliser plusieurs techniques qui prolongent la conservation, notamment :

1. **Congélation des globules rouges** : Le glycérol est utilisé pour congeler les globules rouges à -80°C, permettant de les conserver jusqu'à 10 ans.
2. **Augmenter la viabilité des plaquettes** : Des techniques visant à réduire la contamination bactérienne sont utilisées pour prolonger la viabilité des plaquettes jusqu'à 7 jours.
3. **Congélation du plasma** : Le plasma est congelé à -30°C, ce qui prolonge sa durée de conservation jusqu'à 24 mois.
4. **Application de la technologie FIFO** : Cette technologie repose sur la distribution des produits sanguins les plus anciens en premier pour garantir que les stocks sont utilisés efficacement et réduire les déchets.
5. **Utilisation de solutions ajoutées** : Des solutions spéciales sont ajoutées aux globules rouges pour prolonger leur durée de conservation au-delà des 42 jours standards.

6. **Nanotechnologie** : Les nanomatériaux sont utilisés pour améliorer la préservation du sang, comme les nanotransporteurs d'oxygène qui imitent la fonction de l'hémoglobine et délivrent de l'oxygène aux tissus, ce qui prolonge la durée de vie des globules rouges.[14]

1.12 Comparaison des systèmes de don de sang et de gestion du sang

1.12.1 Différences entre systèmes traditionnels et modernes de gestion du don de sang

a. Systèmes traditionnels

Auparavant, la collecte et la gestion du sang reposaient sur des méthodes manuelles, avec un suivi des stocks moins rigoureux. Les opérations d'enregistrement (des donneurs et des demandes) se basaient sur des enregistrements papier, ce qui pouvait entraîner des erreurs et des pertes de données. Les données étaient stockées dans des documents papier, ce qui ralentissait les opérations et compliquait la coordination. En ce qui concerne les campagnes de sensibilisation, elles reposaient principalement sur des moyens de communication traditionnels (affiches et médias imprimés).

b. Systèmes modernes

Les systèmes modernes s'appuient sur des méthodes de gestion plus avancées, utilisant des techniques électroniques pour un suivi des stocks plus précis. Les opérations d'enregistrement des donneurs et des demandes reposent sur des méthodes automatisées utilisant des systèmes électroniques et des bases de données numériques, ce qui réduit les erreurs et garantit la sauvegarde des données ainsi que leur accessibilité. En ce qui concerne les campagnes de sensibilisation, elles s'appuient désormais sur des moyens numériques, tels que les réseaux sociaux et les applications intelligentes, ce qui a contribué à améliorer l'accès aux donneurs et à augmenter la réponse. De plus, les systèmes modernes permettent l'intégration entre les différentes banques de sang, facilitant ainsi l'échange d'informations et la coordination rapide pour fournir les groupes sanguins requis dans différentes régions [15].

1.12.2 Comparaison des politiques de don de sang dans différents pays

a. Pays développés

Dans les pays développés, le don de sang repose sur un modèle volontaire et encadré, avec une forte régulation par l'État ou des organismes spécialisés comme (l'Établissement français ou Canada ou Les institutions européennes) du sang. Grâce à des infrastructures avancées, ces pays disposent d'un réseau dense de centres fixes et mobiles, d'une sensibilisation continue et de contrôles de qualité stricts garantissant une sécurité transfusionnelle optimale [16].

b. Pays en développement

En revanche, dans les pays en développement, le don de sang fait face à de nombreuses con-

traintes : infrastructures limitées, manque de financement et organisation moins centralisée. Pour répondre aux pénuries, certains pays adoptent des dons de remplacement ou rémunérés, ce qui peut parfois compromettre la sécurité du sang et l'équité d'accès. Cependant, des initiatives internationales comme celles de l'OMS visent à améliorer ces systèmes en renforçant la formation et l'équipement.

Ces différences ont un impact direct sur la l'autosuffisance. Les pays développés atteignent souvent plus de 90 %de dons volontaires, garantissant une meilleure couverture des besoins transfusionnels. En revanche, les pays en développement connaissent encore des ruptures de stock et une qualité inégale des produits sanguins, rendant l'accès aux transfusions moins fiable et plus inégalitaire[16].

1.12.3 Comparaison des techniques de prévision des besoins futurs en sang

a. Approches traditionnelles

Dans le passé, les prévisions de don de sang reposaient sur des méthodes statistiques simples. Elles utilisaient des ratios fixes, comme le pourcentage de donneurs dans la population active ou le nombre de lits d'hôpital, pour estimer les besoins en sang.

Cependant, ces approches avaient des limites importantes : elles ne prenaient pas en compte les variations saisonnières ni les événements imprévus comme les pandémies ou les catastrophes naturelles, ce qui les rendait rigides et peu adaptables.

b. Techniques modernes

Avec les avancées technologiques, les systèmes de gestion du don de sang intègrent désormais des modèles avancés et des algorithmes d'apprentissage automatique. Ces outils analysent de grandes quantités de données (historique des dons, tendances démographiques, besoins cliniques) pour prédire avec précision la demande future.

De plus, l'intégration des données en temps réel permet d'adapter les prévisions instantanément, offrant ainsi une réactivité accrue face aux fluctuations soudaines. Les modèles de simulation aident aussi à anticiper l'impact de divers facteurs (hausse des dons après des événements, baisse en temps de crise) et à optimiser la planification des collectes.

1.13 Analyse des recherches antérieures sur le don de sang et la gestion des stocks.

Voici une analyse approfondie des recherches antérieures dans ce domaine:

La recherche sur la gestion et la distribution des stocks de sang a connu des développements importants, plusieurs études ayant proposé des modèles et des méthodes pour améliorer ces processus. L'étude de Lowalekar et Ravichandran s'est concentrée sur le développement d'un modèle prédictif basé sur l'analyse des fluctuations saisonnières pour estimer la demande de sang de manière plus précise. De leur côté, Haijema et al. ont proposé un modèle basé sur la

programmation dynamique visant à améliorer l'utilisation des produits sanguins avant leur date de péremption. Kopach et al. ont également recommandé l'utilisation de modèles de simulation mathématique pour évaluer l'impact des politiques de stockage, en particulier l'application de la stratégie FIFO. En ce qui concerne la distribution du sang, Sivakumar et al. ont développé un modèle pour optimiser les itinéraires de distribution en utilisant des algorithmes de recherche aléatoire, tandis que Rusman et Rapi ont utilisé la programmation linéaire pour déterminer de manière optimale les emplacements des centres de distribution de sang. D'autre part, l'étude de Çetin et al. a utilisé la programmation par objectifs non linéaire pour déterminer les emplacements optimaux des banques de sang, afin de réduire les distances entre les donneurs et les receveurs. Grasas et al. ont également utilisé l'analyse des données pour prédire les périodes et les lieux de forte demande, ce qui a aidé à améliorer la planification des opérations de distribution. Dans le cadre de l'intégration entre la gestion des stocks et la distribution, Federgruen et al. ont proposé un modèle combinant stockage et distribution dans le but de réduire les coûts et d'augmenter l'efficacité opérationnelle. L'étude de Hemmelmayr et al. a contribué au développement d'un modèle d'optimisation basé sur la programmation linéaire en nombres entiers et les approches méta-heuristiques pour améliorer la chaîne d'approvisionnement en sang et renforcer son efficacité opérationnelle [17].

1.13.1 Faiblesses des recherches récentes et possibilités d'amélioration

- Manque de modèles complets : la plupart des modèles se concentrent séparément sur la gestion des stocks ou de la distribution, tandis que les solutions intégrées sont rares.
- Manque d'applications de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique : L'intelligence artificielle peut améliorer la précision des prévisions de la demande et améliorer la planification de la distribution, mais la recherche dans ce domaine est encore limitée.

1.14 Rôle de IA dans l'amélioration de la gestion du don de sang

L'intelligence artificielle (IA) transforme les banques de sang en optimisant plusieurs aspects essentiels :

- Analyse prédictive de l'approvisionnement : En prévoyant les pics de demande grâce aux tendances historiques et aux événements locaux, l'IA aide à anticiper les pénuries et à assurer un stock suffisant.
- Gestion des stocks et sécurité : L'IA joue un rôle clé dans l'optimisation des stocks de sang en garantissant des conditions de conservation adéquates et en réduisant les pertes. Grâce à l'analyse des données de stockage, elle identifie les unités proches de leur date

d'expiration et optimise leur distribution pour éviter le gaspillage tout en assurant un approvisionnement stable et sécurisé.

- Gestion des stocks et prévision de la durée de conservation : Les algorithmes d'IA optimisent l'utilisation du sang en réduisant le gaspillage et en maintenant un approvisionnement équilibré.
- Considérations éthiques : d'entraîner les algorithmes sur des données diversifiées pour éviter les biais et garantir une distribution équitable du sang.
- Intervention d'urgence : En cas de crise, l'IA permet une allocation rapide et efficace des ressources sanguines en fonction des urgences et des distances géographiques [18].

1.14.1 Exemples de systèmes intelligents pour la gestion des stocks:

- Haier Biomedical Blood Network Solutions : fournit une plate-forme unifiée de gestion du sang à l'échelle de la ville, connectant les banques de sang centrales et les hôpitaux via les technologies IoT. Ces solutions assurent un suivi précis du sang depuis le prélèvement jusqu'à l'utilisation clinique, avec une surveillance continue des conditions de stockage et une optimisation de la distribution pour répondre aux besoins immédiats [19].
- Systèmes de gestion pour banques de sang comme TDBloodBank : Ce système offre une traçabilité complète à chaque étape, de la mise en quarantaine à la transfusion. Il est hautement personnalisable et peut être configuré pour répondre aux besoins spécifiques en matière de gestion du sang et de transfusion, optimisant ainsi les stocks et garantissant la sécurité des patients [20].

1.15 Solutions proposées pour résoudre les problèmes de gestion des stocks

- Mettre en œuvre des systèmes intelligents de gestion des stocks : utiliser les technologies d'intelligence artificielle (IA) pour suivre les niveaux de stocks en temps réel, ce qui permet de prédire les besoins futurs et de garantir la disponibilité des bonnes quantités de produits sanguins.
- Améliorer les stratégies de prévision de la demande : développer des modèles prédictifs qui prennent en compte les données historiques, les facteurs saisonniers et les tendances épidémiologiques pour prédire les besoins futurs en sang et en ses composants.
- Mettre en œuvre des politiques strictes de gestion des stocks : par exemple suivre le principe du « premier entré, premier sorti » pour garantir que le sang le plus ancien est utilisé avant le plus récent et pour réduire les déchets dus à la péremption.

- Élaborer des plans d'urgence efficaces : Élaborer des stratégies pour faire face aux pénuries soudaines de sang, telles que des campagnes de dons d'urgence ou l'importation de sang d'autres régions si nécessaire.

1.16 Conclusion

Dans ce chapitre, nous étudions la gestion du stockage et du don de sang, tout en discutant de l'importance du don de sang, de ses types et de ses conditions, ainsi que des défis auxquels sont confrontés les systèmes de stockage du sang. Nous étudions également la différence entre les tendances traditionnelles et modernes, en nous concentrant sur le rôle de l'intelligence artificielle dans la prévision de la demande et la réduction des pertes.

Chapter 2

Approches comparatives et fondements techniques

2.1 Introduction

Ce chapitre présente les aspects techniques du projet. Il commence par une description du dataset, puis détaille les méthodes d'intelligence artificielle utilisées. Une comparaison des performances des modèles est ensuite réalisée, suivie d'une analyse des travaux antérieurs. Le chapitre se termine par la présentation du concept proposé dans le cadre de cette étude.

2.2 Présentation du dataset

Dans le cadre de ce travail, un jeu de données réel a été collecté manuellement auprès du centre de transfusion sanguine de l'hôpital Mohamed Boudiaf de Ouargla. Cette dataset constitue une ressource essentielle pour l'analyse et la modélisation des besoins en sang dans un contexte local, en tenant compte des facteurs réels influençant l'offre et la demande.

Le jeu de données couvre la période allant de novembre 2022 jusqu'à décembre 2024, ce qui permet une analyse temporelle pertinente incluant deux années complètes ainsi que plusieurs variations saisonnières. Les données ont été extraites à partir des registres hospitaliers, et comprennent les colonnes suivantes :

- **Date** : La date exacte du don.
- **Sexe** : Le genre du donneur (Homme ou Femme).
- **Type de don** : Indique le type de don effectué, à savoir *occasionnel (Occ)*, *régulier (R)* ou *en cas particulier (cp)*.
- **Prélèvement** : Spécifie la nature du prélèvement, entre *sang total* et *aphérèse*.
- **Groupe sanguin** : Le groupe sanguin du donneur (A+, A-, B+, etc.).

- **Événements locaux** : Représente les événements spécifiques ayant pu influencer le taux de participation (fêtes religieuses, événements communautaires...).
- **Épidémies** : Mentionne les périodes affectées par des conditions sanitaires particulières (ex. : grippe saisonnière, COVID-19...).

Toutes les données utilisées sont réelles et reflètent fidèlement les tendances locales de don de sang au niveau de la wilaya de Ouargla. Avant leur exploitation, ces données ont subi un processus de nettoyage, notamment :

- La suppression des enregistrements incomplets ou redondants.
- La normalisation des formats de dates.
- L'uniformisation des libellés dans les colonnes catégorielles (type de don, type de prélèvement...).

Ce dataset constitue donc la base sur laquelle les algorithmes d'intelligence artificielle ont été appliqués pour la prévision du nombre de donneurs et la gestion optimisée des stocks de sang.

2.2.1 Analyse statistique descriptive du jeu de données

L'analyse statistique descriptive réalisée sur le dataset a permis d'identifier plusieurs tendances importantes :

Répartition par sexe :

- Hommes : 72 %
- Femmes : 28 %

Groupe sanguin :

- Le groupe le plus fréquent parmi les donneurs est O+, ce qui représente la majorité des dons.
- Le groupe le plus rare est AB-, ce qui le rend particulièrement précieux en cas d'urgence.

Évolution du nombre de dons par mois :

Un graphique linéaire et Graphique à barres montre une fluctuation mensuelle des dons, influencée par :

- Les campagnes de sensibilisation

- Les événements communautaires
- Les périodes de vacances ou d'épidémies

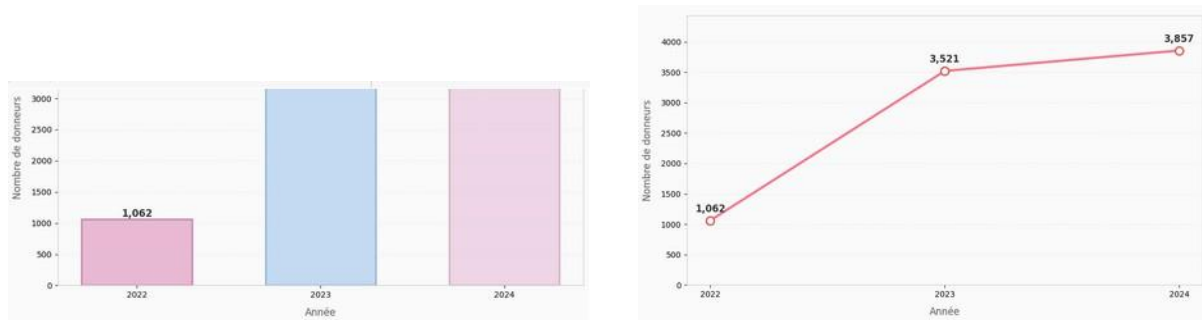


Figure 2.1: Évolution du nombre de dons par mois

Répartition des groupes sanguins :

Une visualisation circulaire (camembert) a été utilisée pour illustrer la distribution des groupes sanguins parmi les donneurs.

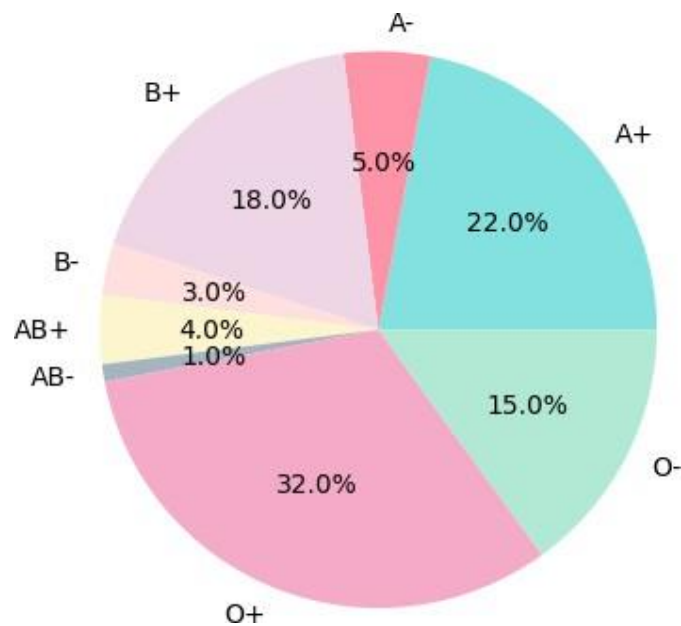


Figure 2.2: Répartition des groupes sanguins

Évolution annuelle des donneurs :

Un graphique à barres met en évidence une tendance générale à la hausse du nombre de donneurs entre 2022 et 2024, grâce à l'amélioration des stratégies de communication et à une plus grande sensibilisation au don de sang.

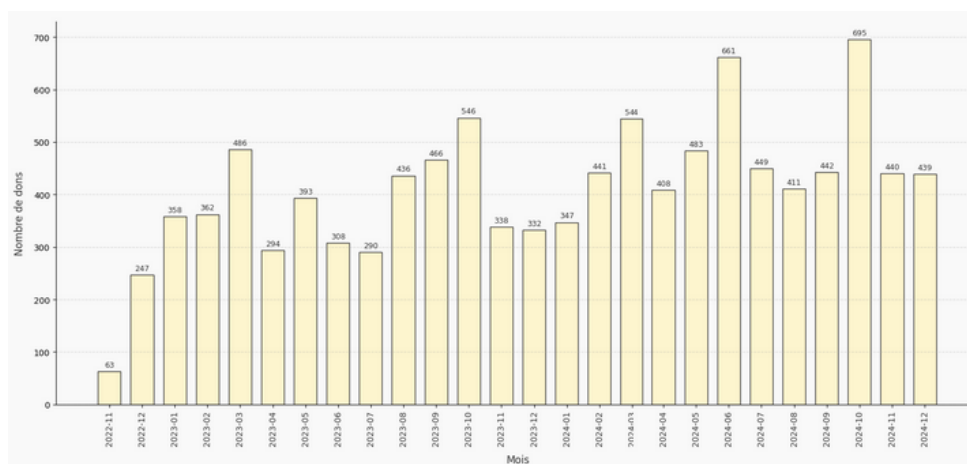


Figure 2.3: Évolution du nombre de dons par mois

2.3 Méthodes d'IA utilisées

Dans cette étude, un ensemble d'algorithmes avancés a été utilisé pour prédire le nombre de donneurs de sang pour chaque groupe sanguin au cours de l'année 2025. Ces algorithmes ont été choisis en fonction de leur capacité à traiter des données temporelles et à interagir avec des modèles complexes et variables. Les modèles utilisés dans le projet sont les suivants :

- **LSTM (Long Short-Term Memory)** Un réseau de neurones récurrent conçu pour traiter des séries temporelles longues.
Avantage : Capacité à capturer des modèles complexes et des relations à long terme dans le temps.
- **Régression polynomiale (Polynomial Regression)** Un modèle statistique non linéaire utilisé pour représenter les relations entre les variables.
Avantage : Flexibilité pour modéliser les variations non linéaires simples.
- **ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average)** Un modèle statistique classique utilisé pour la prévision des séries temporelles.
Avantage : Efficace pour les données stationnaires.
- **Descente de gradient (Gradient Descent)** Un algorithme d'optimisation utilisé pour entraîner les modèles.
Avantage : Rapidité d'adaptation aux petites quantités de données.
- **Apprentissage par renforcement (Reinforcement Learning)** Un modèle basé sur l'interaction avec un environnement simulé pour apprendre des politiques optimales.
Avantage : Adapté aux scénarios dynamiques comme la gestion des stocks.
- **Régression linéaire (Linear Regression)** Un modèle simple qui suppose une relation linéaire entre les variables.

Avantage : Faible complexité computationnelle, adaptée aux grands ensembles de données.

2.4 Étude comparative des algorithmes

Une étude comparative a été réalisée entre les algorithmes mentionnés ci-dessus pour évaluer leurs performances dans la prédiction du nombre de donneurs de sang pour chaque groupe sanguin en 2025. Les algorithmes ont été évalués sur trois axes principaux : la précision de la prédiction, la vitesse d'exécution et la capacité à gérer les variations saisonnières.

- **LSTM (Long Short-Term Memory)**

- **Précision :** Excellente ($\approx 95\%$) pour des séries temporelles complexes comme la demande de sang. Capacité remarquable à mémoriser des tendances longues et à filtrer le bruit.
- **Vitesse :** Temps d'entraînement relativement long, surtout avec de grands ensembles de données historiques.
- **Gestion des variations saisonnières :** Très bonne — l'architecture mémoire permet de capturer les cycles saisonniers de demande sanguine (ex. : périodes post-accidents, vacances).

- **Régression polynomiale**

- **Précision :** Bonne (90–92%) avec des données propres. Risque d'overfitting avec des polynômes de degré élevé.
- **Vitesse :** Très rapide, notamment pour des modèles de degré faible.
- **Gestion des variations saisonnières :** Moyenne — sensible au bruit, elle n'excelle pas dans les séries avec ruptures ou changements soudains.

- **Apprentissage par renforcement (Reinforcement Learning)**

- **Précision :** Variable (85–95%), dépend fortement de la stabilité de l'environnement. Peut chuter à 70–80% en cas de manque de données ou d'imprévus.
- **Vitesse :** L'apprentissage est lent à cause du système de récompense/pénalité, mais il peut donner de bons résultats à long terme.
- **Gestion des variations saisonnières :** Bonne — capacité à s'adapter aux environnements évolutifs (ex. : pandémie, crise sanitaire), bien que des variations irrégulières posent encore problème.

- **Régression linéaire**

- **Précision** : Faible à moyenne (70–80%), particulièrement inefficace avec des données non linéaires typiques du domaine médical.
- **Vitesse** : Très rapide à l’entraînement et à la prédiction.
- **Gestion des variations saisonnières** : Faible — inadaptée pour suivre les pics et creux cycliques de la demande sanguine.

• ARIMA

- **Précision** : Bonne pour des données stables ($RMSE \approx 0.4\text{--}0.6$), mais se dégrade si la série est instable ou bruitée ($RMSE > 1.0$).
- **Vitesse** : Moyenne — nécessite une préparation importante des données.
- **Gestion des variations saisonnières** : Modérée — adaptée pour les cycles réguliers, mais peu flexible face à des changements brusques (ex. : catastrophes naturelles, périodes de don intensif).

• Gradient Descent

- **Précision** : Dépend du modèle qu’il optimise (ex. : 75–85% avec une régression linéaire bien paramétrée).
- **Vitesse** : Variable — nécessite de nombreuses itérations, performance dépendante du taux d’apprentissage et de l’optimisation.
- **Gestion des variations saisonnières** : Indirecte — son efficacité saisonnière dépend entièrement du modèle utilisé.

Graphique à barres groupées illustre la comparaison des algorithmes en fonction de trois critères principaux : la précision de la prédiction, la vitesse d’exécution et la capacité à gérer les changements saisonniers.

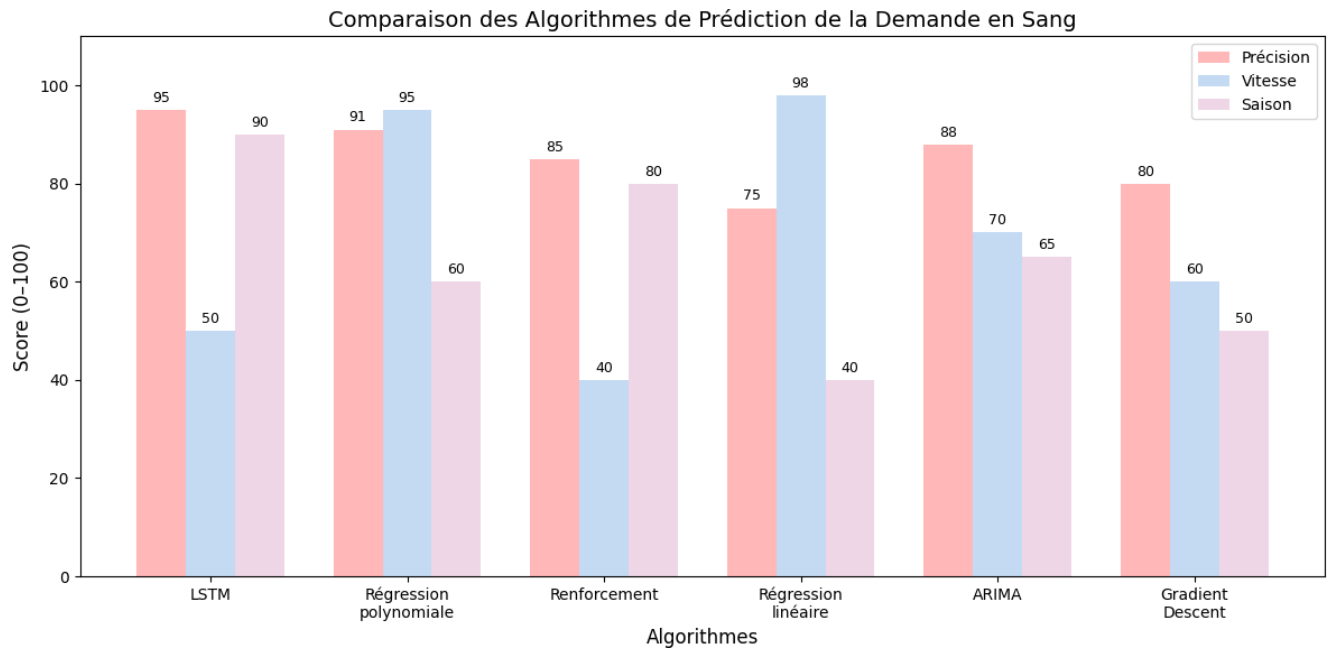


Figure 2.4: Comparaison des algorithmes

2.5 Conclusions sur le choix des algorithmes

Sur la base de l'expérience personnelle et de la comparaison entre différents algorithmes, nous avons décidé de combiner **LSTM**, **régression polynomiale** et **apprentissage par renforcement** car ils offrent un mélange de puissance pour traiter des données complexes et variables.

- **LSTM** : est utilisé pour prédire les besoins futurs en sang avec précision, grâce à sa capacité exceptionnelle à analyser les motifs temporels complexes et à prévoir les changements futurs.
- **Régression polynomiale** : aide à analyser les facteurs influençant les besoins en sang, et permet de comprendre la relation entre les différentes variables et leur impact sur le volume des besoins futurs.
- **Apprentissage par renforcement** : est utilisé pour améliorer la stratégie de distribution du sang en fonction des prévisions futures, garantissant ainsi une plus grande efficacité dans la distribution des ressources et la disponibilité du sang en cas de besoin.

La combinaison de ces algorithmes permet d'obtenir des résultats précis et complets dans des applications complexes telles que la prédiction des donneurs de sang. Chaque modèle combine la puissance de **LSTM** pour traiter les séries temporelles, la flexibilité de **régression polynomiale** pour gérer les modèles non linéaires, et la capacité d'adaptation de **l'apprentissage par renforcement** aux changements dans l'environnement. Cette combinaison rend le modèle plus flexible et précis pour traiter diverses conditions et variables dans les données.

2.6 Raisons de ne pas choisir d'autres algorithmes

- **Régression Linéaire (Linear Regression):**
 - Elle n'est pas fiable lorsqu'il s'agit de données non linéaires ou variables.
 - Sa précision est faible, en particulier lorsque les données sont complexes ou contiennent de multiples facteurs non linéaires.
- **ARIMA:**
 - ARIMA est efficace uniquement pour traiter des données stationnaires. En cas de changements imprévus ou soudains dans les données, les prévisions d'ARIMA peuvent devenir inexactes.
 - Il est difficile de traiter les séries temporelles contenant des motifs saisonniers ou irréguliers.
- **Gradient Descent:**
 - Le Gradient Descent n'est pas un algorithme de prédiction indépendant, mais un outil d'optimisation des modèles uniquement. Par conséquent, il ne convient pas comme solution autonome pour effectuer des prédictions.

2.7 Comparaison des modèles de la littérature

Ces dernières années ont connu un intérêt croissant pour l'utilisation des techniques d'intelligence artificielle dans la prédiction des stocks de sang, à travers des modèles tels que LSTM, ARIMA et l'apprentissage par renforcement. Ces études ont varié en fonction de la nature des données et du contexte local. Voici quelques-uns de ces travaux:

- **Étude : Long-term prediction of Iranian blood product supply using LSTM: a 5-year forecast**
 Cette étude vise à prédire la tendance d'achat et de stockage des produits sanguins, ainsi qu'à planifier et surveiller la consommation de ces produits dans divers centres en Iran, en utilisant l'intelligence artificielle jusqu'en 2027 [21].
- **Étude : Predicting the Need for Blood Transfusion in Intensive Care Units with Reinforcement Learning**
 Cette étude a développé un outil d'aide à la décision utilisant un algorithme d'apprentissage par renforcement pour aider les médecins à prendre des décisions concernant les transfusions sanguines (globules rouges, plaquettes, plasma) en unité de soins intensifs. Le système se concentre sur l'évitement des transfusions non nécessaires, qui augmentent les risques et les coûts. Les résultats montrent que le modèle pourrait réduire le taux de mortalité de 2,74 % [22].

- **Étude : Forecasting blood demand for different blood groups in Shiraz using autoregressive integrated moving average (ARIMA) and artificial neural network (ANN) and hybrid approaches**

Cette étude a comparé les modèles ARIMA, ANN et les modèles hybrides pour prédire la demande de sang à Shiraz. Les résultats montrent qu'ARIMA était plus précis pour la plupart des groupes sanguins, tandis qu'ANN a excellé pour les groupes O⁺ et O⁻[23].

- **Étude : Improved neural network for predicting blood donations based on two emergent factors**

Cette étude a développé un modèle hybride combinant SARIMAX et réseaux neuronaux artificiels (ANN) pour prédire les dons de sang en situations d'urgence. Le modèle a amélioré la précision des prévisions de 60,7 %, contribuant à fournir des alertes précoces et à améliorer l'allocation des ressources en cas d'urgence[24].

- **Étude : LSTM-XGBoost: An Ensemble Model for Blood Demand Distribution Forecasting – A Case Study in Zakho City, Kurdistan Region, Iraq**

Cette étude a proposé un modèle hybride combinant LSTM et l'algorithme XGBoost pour prédire la distribution de la demande en sang. Le modèle a montré une amélioration des performances par rapport aux modèles individuels, augmentant la précision des prévisions et améliorant la gestion de la chaîne d'approvisionnement en sang [25].

- **Étude : A hybrid neural network based model for blood donation forecasting**

Cette étude vise à développer une méthode prédictive efficace pour les dons de sang, en utilisant un modèle hybride qui combine des réseaux neuronaux pour améliorer la précision des prévisions. Un modèle combinant SARIMAX, TCN et LSTM a été conçu pour prévoir les dons quotidiens de sang dans une station centrale de transfusion sanguine à Tongzhou, Pékin. Ce modèle permet de fournir des prévisions précises sur les stocks de sang, aidant ainsi les responsables à prendre de meilleures décisions pour allouer les ressources et gérer les fluctuations de la demande dans un environnement à ressources limitées. Les résultats ont montré une amélioration notable des performances, avec une meilleure précision de 33 % par rapport aux méthodes traditionnelles précédemment utilisées [26].

- **Étude : Comparison of Time Series Methods and Machine Learning Algorithms for Forecasting Taiwan Blood Services Foundation's Blood Supply.**

Cette étude vise à comparer la performance des modèles de séries temporelles traditionnels et des algorithmes de machine learning dans la prévision de l'approvisionnement en sang de la Taiwan Blood Services Foundation. Plusieurs modèles ont été utilisés, tels que ARIMA, Holt-Winters, les réseaux neuronaux artificiels (ANN), et la régression linéaire multiple (MLR). Les résultats ont montré que les modèles de séries temporelles, en particulier ARIMA et Holt-Winters, étaient plus précis et mieux adaptés pour les prévisions que les algorithmes de machine learning. Ces modèles contribuent à améliorer la plani-

fication des approvisionnements en sang et à garantir leur disponibilité régulière dans les établissements de santé [27].

Les résultats obtenus dans la présente étude ont démontré l'efficacité du modèle proposé, qui combine les algorithmes LSTM, la régression analytique et l'apprentissage par renforcement, pour prévoir avec précision les besoins en sang et améliorer l'efficacité de sa distribution réelle. Ces résultats ont été comparés à plusieurs travaux antérieurs ayant adopté des approches méthodologiques différentes.

Par exemple, la présente étude s'appuie sur le modèle "Long-term prediction of Iranian blood product supply using LSTM: a 5-year forecast", qui utilise l'algorithme LSTM pour prévoir à long terme la consommation de sang en Iran. Ce modèle se concentre principalement sur l'aspect quantitatif, sans aborder les dimensions de la distribution ou de la prise de décision. En revanche, notre approche propose un cadre plus intégré, combinant prévision et contrôle de la distribution dans un environnement dynamique, capable de s'adapter aux variations immédiates de la demande. La présente étude exploite également les principes de l'étude "Predicting the Need for Blood Transfusion in Intensive Care Units with Reinforcement Learning", qui met en œuvre l'apprentissage par renforcement afin de réduire les transfusions sanguines inutiles en soins intensifs. Toutefois, notre recherche va au-delà de ce cadre clinique, en utilisant cette technologie pour optimiser la distribution inter-hospitalière du sang, apportant ainsi une valeur ajoutée sur les plans logistique et décisionnel. Par ailleurs, notre étude s'inspire de travaux récents ayant exploré des modèles hybrides tels que LSTM+XGBoost ou ARIMA+ANN pour améliorer la précision des prévisions, comme:

- Forecasting blood demand for different blood groups in Shiraz using ARIMA and ANN and hybrid approaches.
- A hybrid neural network based model for blood donation forecasting.
- LSTM-XGBoost: An Ensemble Model for Blood Demand Distribution Forecasting– A Case Study in Zakho City, Kurdistan Region, Iraq.

Cependant, ces approches se limitent à l'analyse prédictive, sans intégrer de mécanismes décisionnels. À l'inverse, notre modèle se distingue par sa capacité à combiner prévision et prise de décision adaptative pour la distribution du sang.

En ce qui concerne les modèles traditionnels tels que ARIMA ou Holt-Winters, certaines études, comme "Comparison of Time Series Methods and Machine Learning Algorithms for Forecasting Taiwan Blood Services Foundation's Blood Supply", ont montré leur efficacité dans les prévisions à court terme. Néanmoins, leur manque de flexibilité face aux fluctuations non linéaires constitue une limite importante, que notre approche surmonte grâce à l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage capables de s'adapter à des données complexes.

La contribution majeure de cette recherche réside dans le développement d'un cadre intelligent et intégré, reliant la prévision à la distribution réelle du sang, en s'appuyant sur des techniques avancées. Ce modèle permet une gestion plus efficace des ressources sanguines, en particulier

dans les contextes à ressources limitées, et contribue à réduire à la fois les pénuries et les surplus inutile.

2.8 Conclusion

Ce chapitre a présenté et comparé les principaux modèles d'intelligence artificielle utilisés, tels que LSTM, la régression polynomiale et l'apprentissage par renforcement. Les résultats montrent que la combinaison de ces modèles offre une meilleure précision et adaptabilité, constituant ainsi une base solide pour un système intelligent de gestion des dons de sang.

Chapter 3

Etude conceptuelle proposée

3.1 Introduction

Ce chapitre présente l'analyse des besoins réels des utilisateurs en se concentrant sur l'aspect conceptuel de l'application. Cette étape, préalable à l'implémentation, permet de concevoir une vision claire du système à travers des scénarios et diagrammes. La modélisation sera réalisée à l'aide du langage UML (Unified Modeling Language), reconnu pour sa précision dans la représentation des composants du système.

3.2 Phase d'analyse

La phase d'analyse a pour but de déterminer la solution la plus adaptée aux besoins identifiés et aux exigences du projet, tout en précisant les différents acteurs impliqués dans le système ainsi que les tâches associées à chacun [28].

3.2.1 Spécification des Besoins

La spécification des besoins constitue une étape cruciale au début de tout projet de développement logiciel. Son objectif principal est de garantir la création d'un logiciel répondant de manière adéquate aux attentes des utilisateurs. Cette phase consiste en la définition détaillée des fonctionnalités du système, tout en précisant les objectifs à atteindre, en répondant à la question : Quelles sont les fonctions attendues du système ?

- **Besoins Fonctionnels :**

Fonction	Description
Prévision des besoins	Prédire la quantité de sang nécessaire par groupe sanguin et par période.
Suivi du stock en temps réel	Affichage du stock actuel par type de sang.
Recommandations stratégiques	Avertit si le niveau de stock de sang atteint un seuil minimum.
Tableaux de bord interactifs	Affichage des données à travers des tableaux interactifs.

Table 3.1: Représentation des besoins fonctionnels

- **Besoins non fonctionnelles :**

- Performance : temps de réponse rapide
- Sécurité : accès restreint, protection des données sensibles.
- Extensibilité: possibilité d'ajouter d'autres centres de don dans le futur
- Fiabilité : taux d'erreur minimal, disponibilité maximale.
- Portabilité : fonctionnement sur plusieurs plateformes

3.2.2 Définition des acteurs et actions

- Un Acteur: Un acteur représente un rôle abstrait joué par une entité externe (personne, processus ou objet) qui interagit directement avec le système [29].
- Une Action: Les diverses actions qu'un utilisateur peut effectuer sur notre système.

3.2.3 Présentation des acteurs et actions

Dans ce tableau, nous afficherons un cadre clair qui met en évidence les principaux acteurs du système proposé, en précisant les actions qu'ils accomplissent.

Acteur	Action
Visiteur	A1 : Consulter le site. A2 : Rechercher le sang. A3 : S'inscrire pour donner le sang.
Donneur	A4 : Compléter la fiche de don. A5 : Réserver un rendez-vous.
Patient	A6 : Rechercher du sang. A7 : Suivre la demande.
Administrateur	A8 : Authentification. A9 : Gestion des comptes utilisateurs. A10 : Gestion des demandes et dons. A11 : Préparation de rapports et de statistiques. A12 : Envoi de notifications.

Table 3.2: Acteurs du système et actions correspondantes

3.3 Langage de Modélisation Unifié (UML)

3.3.1 Définition:

UML (Unified Modeling Language) est un langage de modélisation graphique basé sur des pictogrammes, conçu pour visualiser de manière normalisée la conception des systèmes logiciels. Il complète efficacement les représentations textuelles, car un schéma peut souvent exprimer plus clairement certaines idées.

Il est issu de la fusion de trois méthodes de modélisation objet : Booch, OMT et Objectory, développées par Booch, Rumbaugh et Jacobson [30].

3.3.2 Diagrammes d'UML:

Les diagrammes UML illustrent les traitements et les données d'un système logiciel sous forme graphique, chacun mettant en évidence un aspect spécifique du système modélisé.

a- Diagramme de Structure (Statiques):

Les diagrammes de structure ou statiques (Structure Diagram) regroupent :

- **Diagramme de classes (Class diagram):** Illustration des classes participant au système [28].

- **Diagramme d'objets (Object diagram):** Illustration des instances de classes (objets) employées dans le système[28].
- **Diagramme de composants (Component diagram) :** Illustration des éléments du système d'une perspective physique, comme ils sont appliqués (fichiers, bibliothèques, bases de données, ...etc) [28].
- **Diagramme de déploiement :** Illustration des éléments physiques (hôtes, périphériques, réseaux, systèmes de stockage...) et la façon dont les composants du système sont répartis sur ces éléments matériels et interagissent les uns avec les autres [28].
- **Diagramme des paquets :** Illustration des relations entre les paquets (un paquet étant un conteneur logique qui permet de centraliser et d'agencer les éléments selon le modèle UML), c'est-à-dire entre les groupes de définitions[28].
- **Diagramme de structure composite :** Illustration en boîte blanche des relations entre les composants d'une classe[28].

b- Diagramme de Comportement:

Les diagrammes comportementaux (Behavior Diagram) rassemblent :

- **Diagramme des cas d'utilisation:** Illustration des différentes interactions possibles entre le système et les acteurs externes, représentant ainsi l'ensemble des fonctionnalités que le système est censé offrir[28].
- **Diagramme états-transitions:** Modélisation du comportement du système ou de ses composants sous forme de machine à états finis[28].
- **Diagramme d'activité:** Modélisation du comportement du système ou de ses composants à travers un enchaînement ou un flux d'activités[28].

c- Diagrammes d'interaction ou dynamiques:

Les diagrammes d'interaction ou dynamiques (Interaction Diagram) rassemblent :

- **Diagramme de séquence (Sequence Diagram) :** Illustration séquentielle du déroulement des traitements et des interactions entre les éléments du système et/ou ses acteurs [28].
- **Diagramme de communication (Communication Diagram) :** Représentation simplifiée d'un diagramme de séquence, centrée sur les échanges de messages entre objets, introduite à partir de UML 2.x [28].
- **Diagramme global d'interaction (Interaction Overview Diagram):** Représentation des en- chaînements possibles entre les scénarios identifiés, sous forme de diagrammes de séquence, constituant une variante du diagramme d'activité introduite avec UML 2.x[28].

- **Diagramme de temps (Timing Diagram) :** Représentation de l'évolution d'une donnée au fil du temps, introduite à partir de UML 2.3[28].

3.4 Analyse des besoins:

Dans cette phase, plusieurs diagrammes UML seront réalisés afin de bien cerner les exigences fonctionnelles du système

3.4.1 L'outil StarUML

Pour la modélisation des besoins à l'aide des diagrammes UML, l'outil StarUML sera utilisé en raison de sa compatibilité avec les standards UML et de sa facilité d'utilisation.

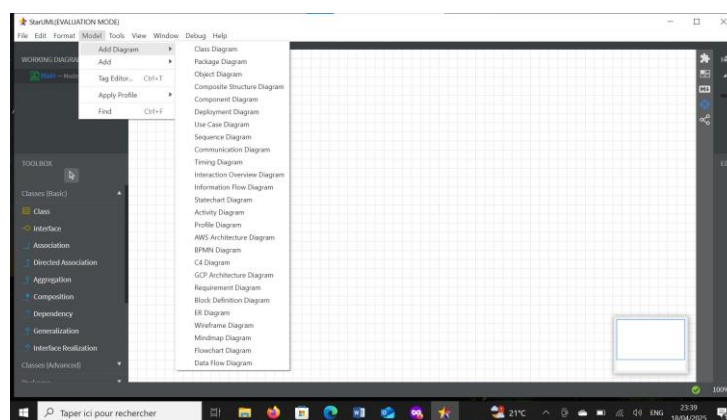


Figure 3.1: L'outil STAR UML

3.4.2 Diagramme De contexte:

Un diagramme de contexte représente le système logiciel comme un seul processus global et illustre la manière dont les entités externes interagissent avec ce système[31].

La plateforme de banque du sang interagit avec trois parties externes : Administrateur (1) : Gère la plateforme. Donateur, Visiteur (0,n) : Ils utilisent les services de la plateforme en fonction de leur rôle.

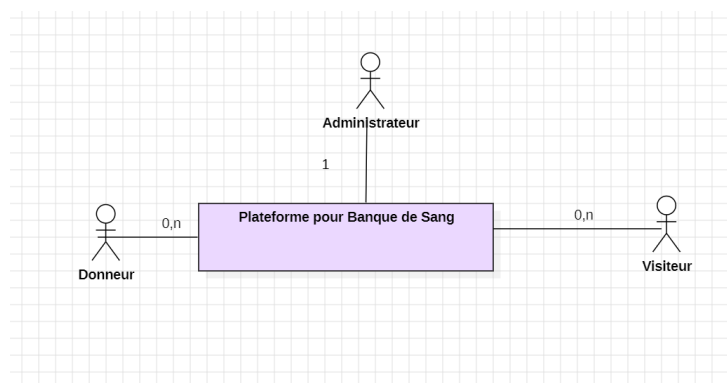


Figure 3.2: Diagrammes de contexte

3.4.3 Diagrammes utilisés pour l'analyse

a- Diagramme des cas d'utilisation (Use Case Diagram)

Description des interactions envisageables entre le système et les acteurs externes, représentant l'ensemble des services ou fonctionnalités attendus du système [28].

Dans notre application, cela se traduit par un système de gestion de banque de sang, une plateforme numérique qui permet:

- La gestion des comptes donneurs et des stocks de sang,
- L'enregistrement des donneurs et la planification des rendez-vous,
- Le suivi des commandes et la gestion des comptes,
- La génération de rapports.

Ce système facilite la communication avec les donneurs et garantit la disponibilité du sang de manière rapide, efficace et sécurisée.

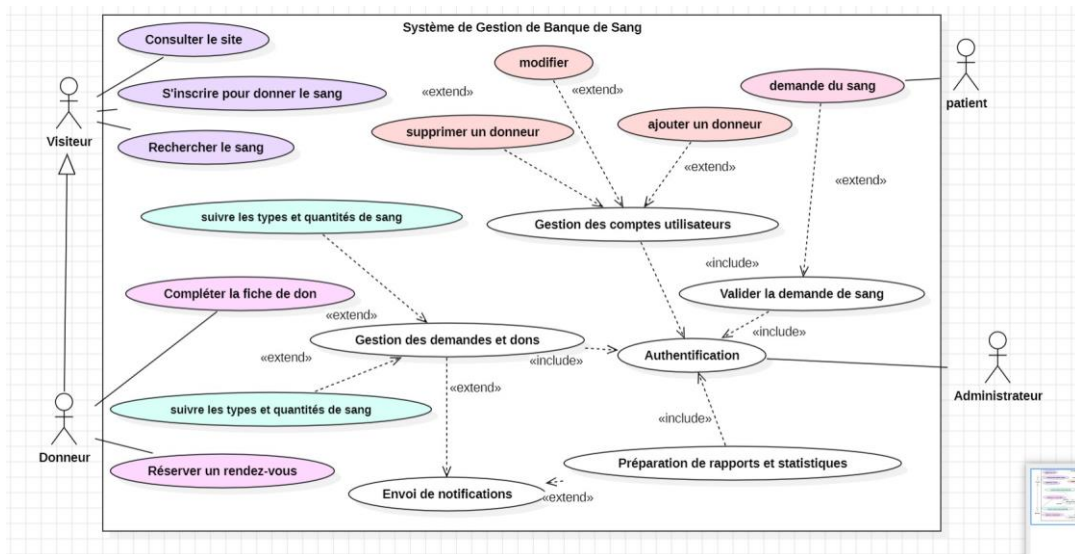


Figure 3.3: Diagrammes des cas d'utilisation

b- Les diagrammes de séquence:

Représentation chronologique du déroulement des traitements et des échanges entre les différents composants du système et/ou ses acteurs, illustrant l'enchaînement des interactions dans un scénario précis[28].

Dans notre cas, nous avons représenté ici les principaux cas d'usage fondamentaux de la plateforme, et les voici ci-dessous: **Diagramme de séquence pour création d'un compte donneur**

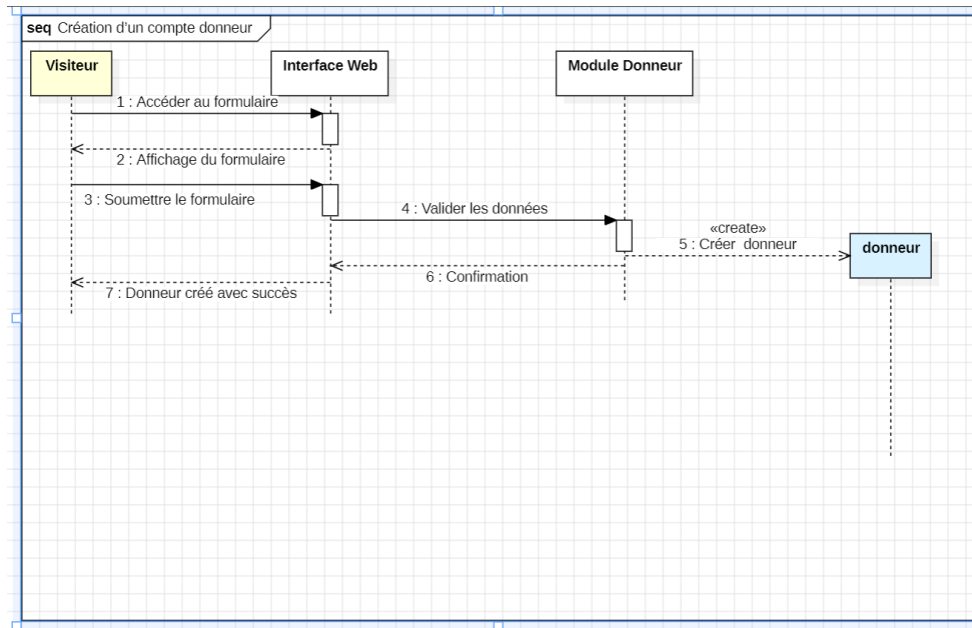


Figure 3.4: diagramme pour Création d'un donneur

Diagramme de réservation de rendez-vous pour les dons:

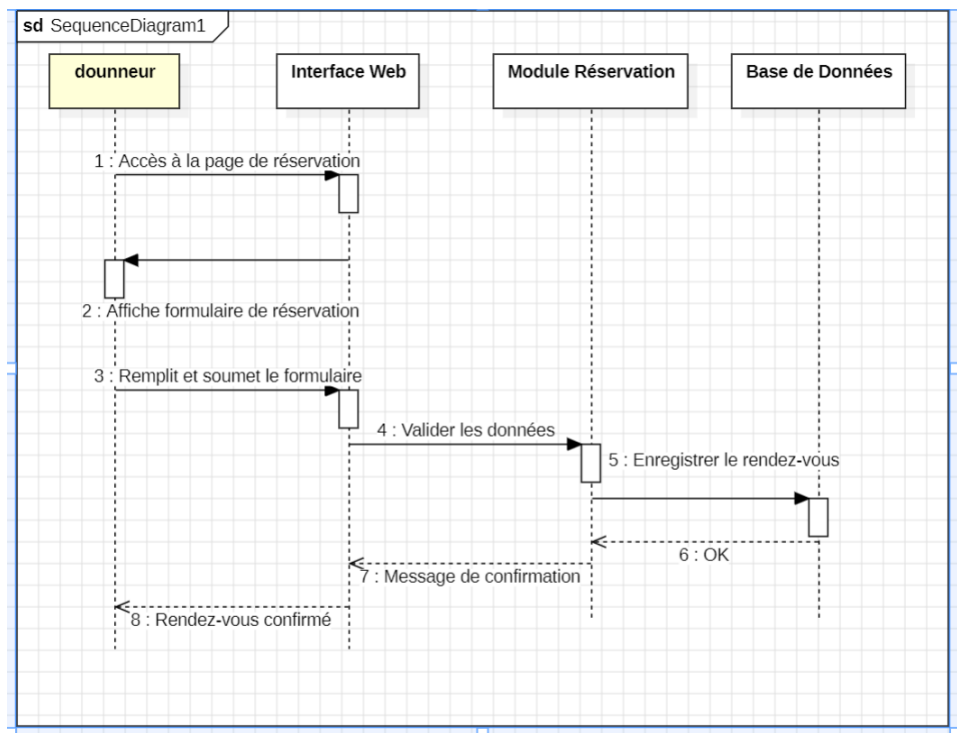


Figure 3.5: diagramme de réservation de rendez-vous

Diagramme de séquence de connexion de l'administrateur

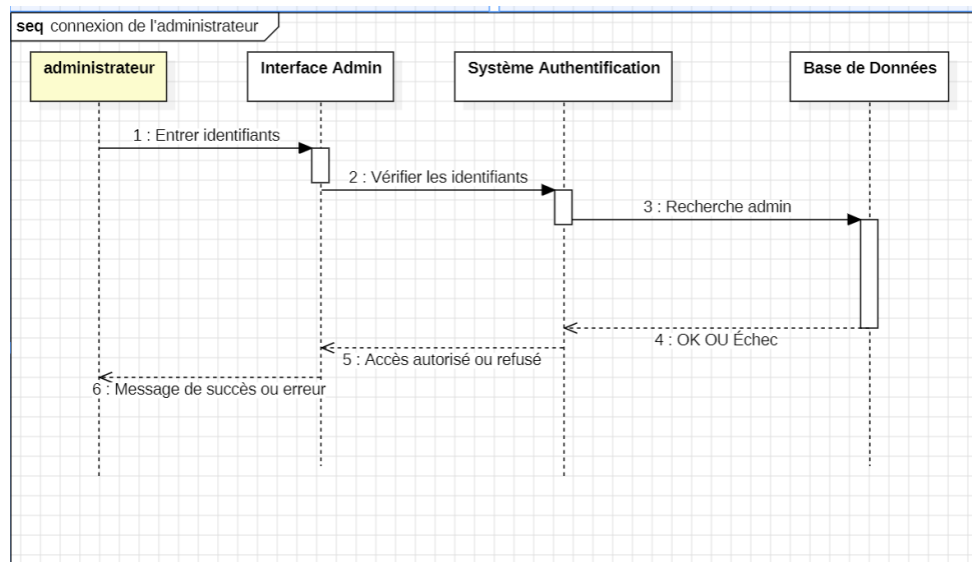


Figure 3.6: diagramme pour connexion de l'administrateur

Diagramme pour Ajouter et Supprimer et Modifier un donneur

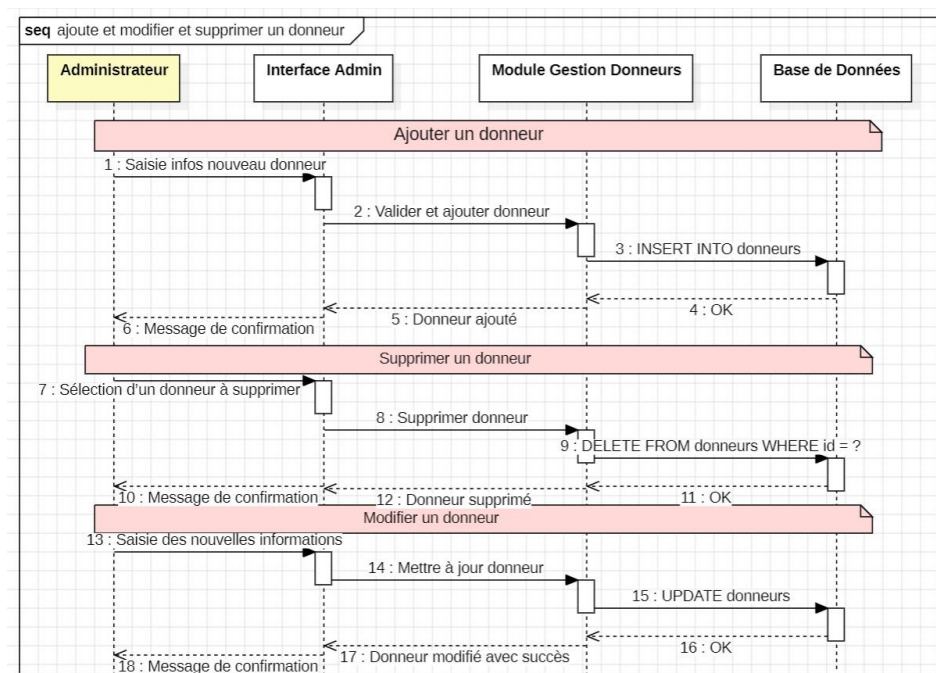


Figure 3.7: diagramme pour Ajouter et Supprimer et Modifier un donneur

Diagramme de Séquence Notification en cas de stock de sang insuffisant

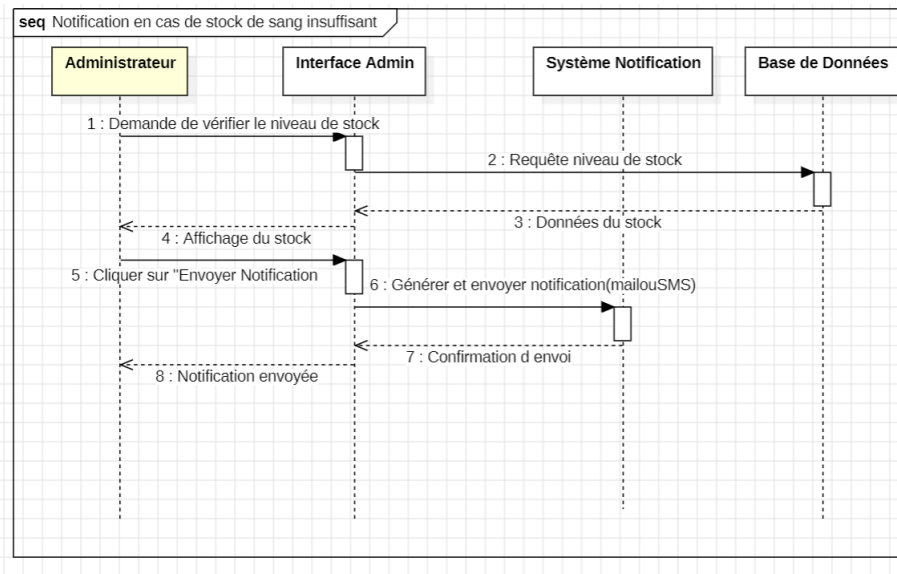


Figure 3.8: diagramme Notification en cas de stock de sang insuffisant

c- Diagramme de classe :

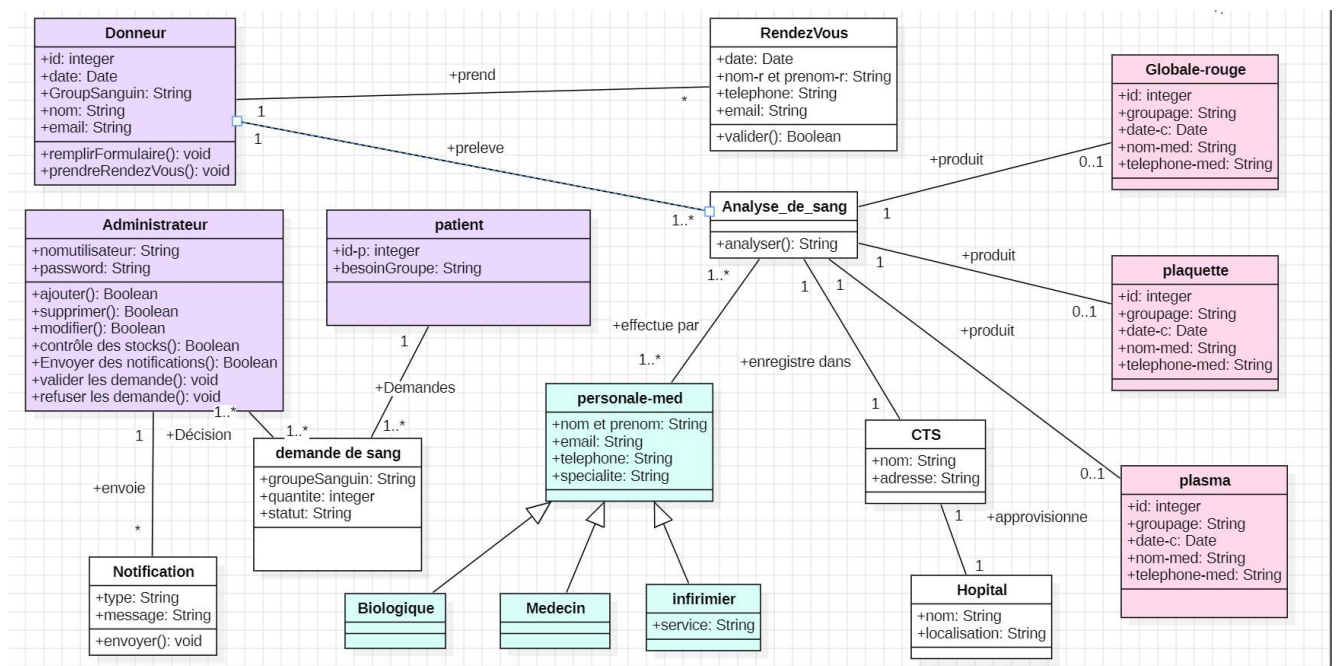


Figure 3.9: Diagramme de classe de notre système

Description de diagramme de classe:

Ce diagramme décrit un système intégré de gestion d'une banque de sang, structuré autour de plusieurs entités clés qui collaborent pour assurer la fluidité et la fiabilité du processus. Le système commence par la classe Donneur, qui contient des informations personnelles et médicales de base, et permet de remplir un formulaire ou de prendre un rendez-vous pour un don. Une fois le don effectué, une analyse de sang est réalisée par un membre du personnel médical, tel qu'un

médecin, un biologiste ou un infirmier, identifié par son nom, sa spécialité, et ses coordonnées.

Le sang prélevé est ensuite enregistré dans l'entité `Analyse_de_sang`, qui le transforme en produits sanguins distincts, comme les globules rouges, les plaquettes et le plasma, chacun étant associé à un identifiant, un groupe sanguin, une date de conservation et le nom du personnel médical responsable.

Le système inclut également la classe `Patient`, qui soumet des demandes de sang selon un groupe sanguin et une quantité définis. Ces demandes sont gérées par l'Administrateur, qui a la capacité de valider ou refuser les demandes, et d'envoyer des notifications en cas de besoin.

Les produits sanguins analysés et validés sont ensuite stockés dans un CTS (Centre de Transfusion Sanguine), qui peut approvisionner les Hôpitaux selon leur localisation. Le processus de rendez-vous est encadré par la classe `RendezVous`, qui collecte les coordonnées du donneur et dont la validation est nécessaire pour poursuivre le processus.

Ce système assure ainsi une gestion complète du don, de l'analyse, du stockage et de la distribution du sang, tout en offrant un contrôle global à l'administrateur pour garantir la sécurité, la traçabilité et la réactivité aux besoins médicaux.

3.5 Modèle Relationnel :

Le modèle relationnel permet de structurer les informations en définissant les relations entre différentes entités. À partir du diagramme de classes, il est possible de le transformer en un modèle relationnel en suivant des règles de correspondance précise. Le schéma ci-dessous représente le modèle relationnel obtenu :

- **Donneur** (id_donneur, nom, email, date_naissance, groupe_sanguin, date_dernier_don)
- **Administrateur** (id_admin, nom_utilisateur, mot_de_passe)
- **patient** (id_patient, besoin_groupe)
- **RendezVous** (id_rdv, date_rdv, nom_prenom, telephone, email, statut, id_donneur*)
- **PersonnelMedical** (id_med, nom_prenom, email, telephone, specialite, service)
- **GlobaleRouge** (id_produit, groupage, date_collecte, id_med*, telephone_med)
- **Plasma** (id_produit, groupage, date_collecte, id_med*, telephone_med)
- **Plaquette** (id_produit, groupage, date_collecte, id_med*, telephone_med)
- **AnalyseSang** (id_analyse, resultat, date_analyse, id_donneur*, id_med*)
- **Notification** (id_notif, type, message, date_envoi, id_destinataire, type_destinataire)
- **Demandedesang** (id_demande, id_patient*, id_donneur*, statut)
- **StockProduit** (id_stock, type_produit, groupage, quantite, date_expiration)

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé l'étape d'analyse et de conception des besoins, ainsi que la planification du fonctionnement de notre future application. Nous avons détaillé la modélisation en nous appuyant sur les différents diagrammes du langage UML, notamment le diagramme de cas d'utilisation, le diagramme de séquence et le diagramme de classes. Cette modélisation vise à faciliter la mise en œuvre concrète de le site web, qui fera l'objet du chapitre suivant.

Chapter 4

Implémentation et expérimentation

4.1 Introduction:

La phase de réalisation constitue l'aboutissement concret de tout ce qui a été planifié, conçu et développé théoriquement au cours des phases précédentes du projet. C'est à ce stade que les modèles et les plans sont transformés en un produit tangible répondant aux objectifs fixés. Ce chapitre revêt une importance particulière, car il contient l'aspect pratique du projet, reflétant l'efficacité de la conception théorique et technique mise en œuvre.

4.2 Environnement et Outils

4.2.1 Spécifications Matérielles

Le projet a été réalisé sur un ordinateur avec les caractéristiques suivantes :

- Nom du périphérique : DESKTOP-G82K39J.
- Processeur : Intel(R) Core(TM) i5-5300U CPU @ 2.30GHz.
- Mémoire RAM : 16 Go .
- Stockage : SSD Dahua C800 de 512 Go .
- Carte graphique : Intel(R) HD Graphics 5500 (128 Mo).
- Type du système : Système d'exploitation 64 bits, processeur x64.
- Système d'exploitation : Windows 10

4.2.2 Logiciels et Bibliothèques:

Le projet se compose de deux parties principales et complémentaires :

Première partie : Interface Web (Site Web)

Cette partie consiste en le développement d'une interface web interactive visant à connecter les donneurs de sang avec les centres de transfusion. Elle a pour objectif de faciliter la gestion, d'en améliorer l'efficacité et d'organiser les opérations liées au don de sang. Le site a été construit en utilisant les technologies suivantes:

- **Django:** est un framework Python puissant qui facilite la création de sites web avec ce langage. Il est principalement utilisé pour le développement du back-end, permettant la gestion des bases de données, le traitement des requêtes et l'organisation de la logique applicative [32].
- **HTML**(Hyper Text Markup Language):est le langage de balisage standard pour créer la structure des pages Web [32].
- **CSS**(Cascading Style Sheets):CSS est le langage que nous utilisons pour concevoir une page Web et formater son apparence [32].
- **JavaScript:**JavaScript est un langage de programmation utilisé pour rendre les pages web interactives et dynamiques [32].
- **Bootstrap:**Concevez des interfaces utilisateur réactives et élégantes rapidement et efficacement. Il s'agit d'un framework open source basé sur HTML, CSS et JavaScript, et fournit une large gamme de composants prêts à l'emploi [33].
- **XAMPP:**Un environnement de serveur local pour tester l'application et connecter Django à une base de données MySQL pendant le développement.
- **MySQL:**Un système de gestion de base de données permettant de stocker des informations relatives aux donateurs, aux centres et aux opérations.
- **Visual Studio Code:**L'éditeur principal utilisé pour écrire et éditer le code du projet, grâce à ses plugins intelligents et son intégration avec l'environnement Django.



Deuxième partie : système intelligent

Le système intelligent constitue la composante centrale de notre projet. Il est chargé du traitement et de l'analyse des données à l'aide des techniques d'intelligence artificielle et d'apprentissage automatique (LSTM, l'apprentissage par renforcement, régression polynomiale) dans le but de fournir des résultats précis et des prédictions fondées sur les données saisies.

Ce système a été développé en utilisant le langage Python, en raison de la richesse de ses bibliothèques et de la vitalité de sa communauté dans le domaine de l'intelligence artificielle. Le développement s'est appuyé sur un ensemble de bibliothèques spécialisées telles que:

- **pandas (pd)**:bibliothèque spécialisée dans l'analyse et le nettoyage des données, offrant des structures de données avancées telles que les DataFrames, permettant un traitement efficace des données tabulaires avec un support pour les index avancés et les opérations de regroupement et de fusion [34].
- **numpy (np)**:bibliothèque de base pour les calculs scientifiques en Python, fournissant un objet ndarray multidimensionnel avec des outils mathématiques avancés pour les opérations sur les tableaux, et considérée comme la pierre angulaire de nombreuses bibliothèques d'apprentissage automatique [35].
- **PyTorch (torch)**:Cadre puissant pour l'apprentissage profond qui prend en charge les calculs automatiques (autograd) et l'exécution sur les unités de traitement graphique, et qui se distingue par sa flexibilité dans la construction et l'entraînement des réseaux neuronaux [36].
- **torch.nn (nn)**:module dans PyTorch contenant tous les composants nécessaires à la construction de réseaux neuronaux, tels que les couches linéaires, les fonctions d'activation et les fonctions de perte, facilitant ainsi la conception de modèles complexes [37].
- **torch.optim (optim)**:module dans PyTorch proposant des algorithmes d'optimisation avancés tels qu'Adam et SGD, avec un support pour le réglage des hyperparamètres d'apprentissage et des techniques comme le momentum et la décadence du poids [38].
- **MinMaxScaler**:outil de scikit-learn pour normaliser les données, qui transforme les valeurs dans une plage spécifique (généralement entre 0 et 1), améliorant ainsi les performances des algorithmes d'apprentissage automatique sensibles aux échelles des données [39].
- **matplotlib.pyplot(plt)**:bibliothèque de tracé de base en Python offrant une interface similaire à MATLAB pour créer une large gamme de graphiques en 2D et 3D [40].
- **mean_squared_error**:mesure de scikit-learn pour calculer la moyenne des carrés des erreurs entre les valeurs prévues et réelles, utilisée pour évaluer la performance des modèles de régression[41].
- **r2_score**:Indice de qualité de la régression qui mesure le pourcentage de variance dans les données expliqué par le modèle, où la valeur 1 indique une concordance parfaite [42].
- **make_pipeline**:fonction dans scikit-learn qui simplifie la création de pipelines de traitement des données en liant plusieurs étapes de transformation et de modélisation dans un seul objet exécutable[43].

- **os**: module d'interaction avec le système d'exploitation fournissant des fonctions pour la gestion des fichiers et des dossiers, des variables d'environnement et des paramètres de la plateforme[44].
- **datetime**: module intégré pour gérer les dates et les heures avec précision, prenant en charge les opérations arithmétiques, le formatage et la conversion entre différentes représentations[45].
- **time**: module pour les fonctions temporelles de base, fournissant la mesure du temps, le retard, et la conversion des représentations temporelles entre différents formats[46].
- **tkinter (tk)**: bibliothèque standard pour créer des applications d'interface utilisateur graphique (GUI) en Python, fournissant des éléments d'interface de base tels que des fenêtres, des boutons et des champs de texte[47].
- **PIL.Image**: bibliothèque de traitement d'images de base en Python, prenant en charge l'ouverture, la sauvegarde et la modification d'images dans divers formats avec des opérations telles que le redimensionnement, le recadrage et le filtrage[48].

4.3 Implémentation

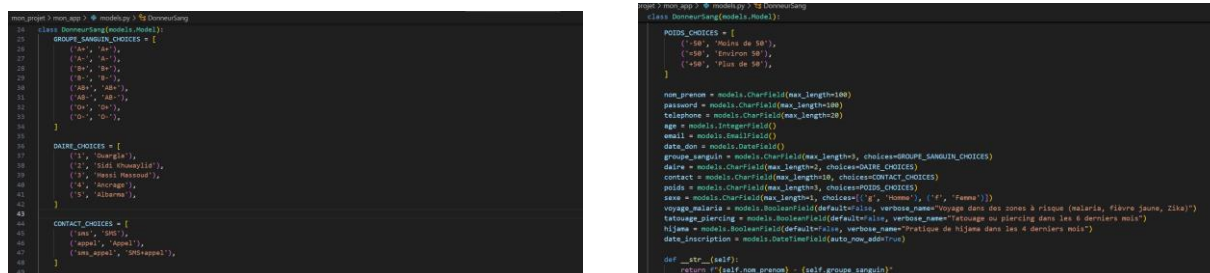
4.3.1 Développement de sites Web avec Django:

Le système de gestion de la banque de sang a été construit en s'appuyant sur le framework Django en langage Python, en raison de sa puissance dans la gestion des données, de sa sécurité élevée et de son support intégré pour les bases de données, ainsi que d'une excellente intégration avec MySQL.

L'application comprend plusieurs composants principaux décrits ci-dessous:

Modèles de données:

La structure conceptuelle de la base de données a été conçue à l'aide des modèles Django situés dans le fichier `models.py`, en utilisant l'ORM (Object-Relational Mapping) fourni par Django, dans le but de créer les tables et de les relier de manière orientée objet. Par exemple, le modèle `DonneurSang` représente l'entité du donneur de sang et comprend les caractéristiques principales suivantes :



```

18 class DonneurSang(models.Model):
19     GROUPE_SANGUIN_CHOICES = [
20         ('A+', 'A+'),
21         ('A-', 'A-'),
22         ('B+', 'B+'),
23         ('B-', 'B-'),
24         ('AB+', 'AB+'),
25         ('AB-', 'AB-'),
26         ('O+', 'O+'),
27         ('O-', 'O-'),
28     ]
29     date = models.DateField()
30     contact = models.CharField(max_length=50, choices=CONTACT_CHOICES)
31     poids = models.CharField(max_length=50, choices=POIDS_CHOICES)
32     sexe = models.CharField(max_length=10, choices=['M', 'F'], verbose_name="Sexe")
33     voyage_malaria = models.BooleanField(default=False, verbose_name="Voyage dans des zones à risque (malaria, fièvre jaune, Zika)")
34     tatouage_piercing = models.BooleanField(default=False, verbose_name="Tatouage ou piercing dans les 6 derniers mois")
35     ligne = models.BooleanField(default=False, verbose_name="Pratique de ligne dans les 6 derniers mois")
36     data_inscription = models.DateTimeField(auto_now_add=True)
37
38     def __str__(self):
39         return f'({self.num_prenom}) - ({self.groupe_sanguin})'

```

Figure 4.1: Modèles de données pour les donneurs de sang

Paramètres de la base de données(Database Configuration):

La connexion entre Django et MySQL a été configurée via le fichier de configuration settings.py, où le nom de la base de données, l'utilisateur, le mot de passe et les informations d'hébergement ont été spécifiés comme suit :

```

84
85 # Database
86 # https://docs.djangoproject.com/en/5.1/ref/settings/#databases
87
88 DATABASES = {
89     'default': {
90         'ENGINE': 'django.db.backends.mysql',
91         'NAME': 'cts',
92         'USER': 'root',
93         'PASSWORD': '',
94         'HOST': '127.0.0.1',
95         'PORT': '3306',
96         'OPTIONS': {
97             'init_command': "SET sql_mode='STRICT_TRANS_TABLES'",
98         },
99     },
100 }
101
102
103

```

Figure 4.2: Configuration de la base de données dans settings.py

Logique d'application(Views):

Ici, les requêtes sont traitées et les réponses sont générées à l'aide des fonctions définies dans le fichier views.py. L'exemple suivant traite l'envoi du formulaire de don de sang et vérifie les conditions de santé avant d'enregistrer les données:

```

def formulaire_view(request):
    if request.method == 'POST':
        form = DonneurSangForm(request.POST)
        if form.is_valid():
            # Vérifier les contre-indications médicales
            if any([form.cleaned_data['voyage_malaria'],
                    form.cleaned_data['tatouage_piercing'],
                    form.cleaned_data['hijama']]):
                return render(request, 'mon_app/refus.html')

            donneur = form.save()
            request.session['donneur_id'] = donneur.id
            return redirect('confirmation')
        else:
            print("Erreurs dans le formulaire:", form.errors)
    else:
        form = DonneurSangForm()
        return render(request, 'mon_app/formulaire.html', {'form': form})

```

Figure 4.3: Exemple de views.py

Configuration des chemins d'accès aux applications(URLs Routing):

Les routes qui lient les requêtes aux fonctions appropriées ont été définies dans le fichier urls.py.

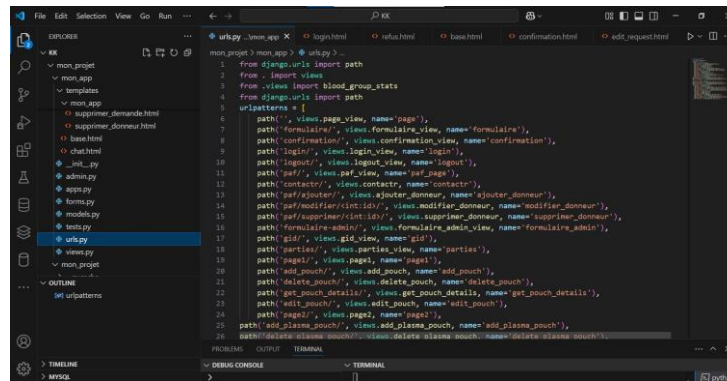


Figure 4.4: Exemple de urls.py

Les tables principales dans MySQL:

Le système comprend un ensemble de tables de base dans MySQL, représentant les entités clés de la banque du sang.

Nom de la table	Fonction
DonneurSang	Stockage des informations des donneurs de sang avec détails personnels et médicaux.
BloodPouch	Suivi des poches de sang total avec informations sur le groupe sanguin et dates de prélèvement.
PlasmaPouch	Stockage des poches de plasma avec informations sur le groupe sanguin et dates de prélèvement.
RedCellPouch	Enregistrement des poches de globules rouges avec informations sur le groupe sanguin et dates de prélèvement.
Reservation	Gestion des rendez-vous de don et organisation avec informations de réservation de base.
BloodRequest	Gestion des demandes de sang des patients avec détails de la demande et son état.
Patient	Enregistrement des informations personnelles et médicales des patients recevant du sang .

Table 4.1: Description des tables principales de la base de données

Paramétrage de l'envoi d'e-mails(SMTP Configuration):

Pour permettre à l'application d'envoyer des courriels automatiques (comme l'envoi d'alertes), le serveur de messagerie a été configuré avec les paramètres SMTP de Gmail comme suit :

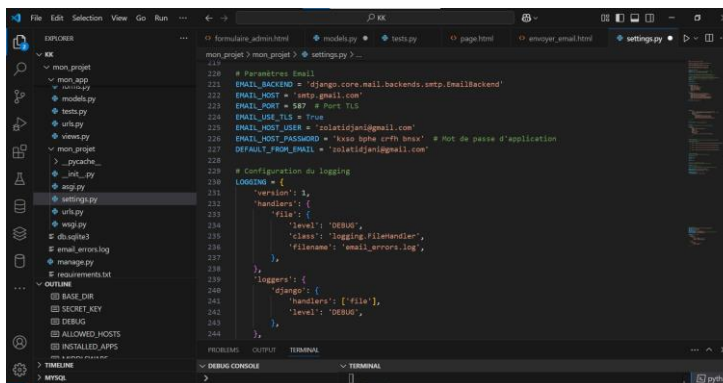


Figure 4.5: SMTP Configuration

4.3.2 Développement de systèmes intelligents:

Le but principal de ce projet est d'analyser la tendance mensuelle générale du nombre de donneurs de sang et de fournir des prévisions simplifiées sur son augmentation ou sa diminution. Dans ce contexte, un système intelligent de prévision et d'analyse des besoins en sang a été développé au sein d'une banque de sang numérique, en s'appuyant sur trois algorithmes d'apprentissage automatique : l'algorithme LSTM pour la prévision temporelle, l'algorithme d'apprentissage par renforcement (Q-Learning) pour améliorer les politiques de prise de décision, et la régression polynomiale pour analyser les relations non linéaires entre les variables. Le système se distingue par une interface interactive facile à utiliser, qui soutient les opérations de gestion des ressources sanguines avec une grande efficacité.

Ce modèle a été développé selon les étapes suivantes :

Préparation et prétraitement des données:

Le processus de préparation et de traitement des données joue un rôle central dans la garantie de l'efficacité et de la précision des modèles d'apprentissage automatique, en particulier lorsqu'il s'agit de données sensibles telles que les données de don de sang. Voici une présentation détaillée des principales étapes suivies dans la préparation des données pour ce projet.

1-Collecte de données: Les données ont été chargées à partir d'un fichier Excel en utilisant la bibliothèque pandas.

2-Nettoyage des données: Les valeurs présentes dans la colonne des dates ont été converties en un format temporel uniforme en utilisant `to_datetime()`.

```
self.df['Date'] = pd.to_datetime(self.df['Date'], errors='coerce')
```

Figure 4.6: Nettoyage des données

3-Ingénierie des caractéristiques (Feature Engineering) Pour enrichir les données, de nouvelles caractéristiques ont été extraites de la date, telles que l'année, le mois et le jour de la semaine, ce qui contribue à révéler les tendances saisonnières et annuelles dans les dons.

```
self.df['Year'] = self.df['Date'].dt.year
self.df['Month'] = self.df['Date'].dt.month
self.df['DayOfWeek'] = self.df['Date'].dt.dayofweek
```

Figure 4.7: Ingénierie des caractéristiques

4-Normalisation des données Pour obtenir des performances stables et rapides pendant l'entraînement, l'algorithme MinMaxScaler a été utilisé pour normaliser les valeurs des dons dans une plage uniforme entre 0 et 1.

L'équation utilisée :

$$\frac{\text{Original} - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} = \text{Normalized Value}$$

5-Division des séries temporelles: Les données temporelles ont été converties en séquences adaptées au modèle LSTM. Les données de 12 mois consécutifs sont utilisées pour prédire la valeur du treizième mois.

6-Conversion des données en Tenseurs PyTorch: Pour préparer les données pour l'entraînement du modèle dans l'environnement PyTorch, les tableaux NumPy ont été convertis en tenseurs de type float32.

```
x_train = torch.tensor(x_train, dtype=torch.float32)
y_train = torch.tensor(y_train, dtype=torch.float32)
```

Figure 4.8: Conversion des données en PyTorch

Modélisation et entraînement

1-Construire un modèle LSTM pour prédire la demande de sang:

Nous avons utilisé un réseau de neurones récurrent de type LSTM (Long Short-Term Memory) pour prédire la demande future de sang en fonction des données historiques.

Caractéristiques du modèle:

- Architecture du réseau : 4 couches LSTM avec 512 cellules neuronales par couche.
- Taux de décrochage (Dropout) : 0,3 pour réduire le surapprentissage.
- La dernière couche (entièrement connectée) : convertit la sortie en un même nombre de groupes sanguins.

```

# 4. Construction du modèle LSTM
class LSTMPredictor(nn.Module):
    def __init__(self, input_size, hidden_size=512, num_layers=4, dropout=0.3):
        super(LSTMPredictor, self).__init__()
        self.lstm = nn.LSTM(input_size, hidden_size, num_layers, batch_first=True, dropout=dropout)
        self.fc = nn.Linear(hidden_size, input_size)

    def forward(self, x):
        lstm_out, _ = self.lstm(x)
        return self.fc(lstm_out[:, -1, :])

input_size = len(blood_groups)
model = LSTMPredictor(input_size).to(device)

criterion = nn.MSELoss()
optimizer = optim.Adam(model.parameters(), lr=0.0003)

```

Figure 4.9: Construire un modèle LSTM

Entraînement du modèle:

Le modèle a été entraîné en utilisant :

- Fonction de perte : erreur quadratique moyenne (MSELoss)
- Algorithme d'optimisation : Adam, avec un taux d'apprentissage de 0,0003.
- Nombre de cycles d'entraînement (Epochs) : 2000 cycles.
- Entraînement itératif : mise à jour des poids du réseau pour améliorer la précision des prédictions.

Et le temps pris ainsi que l'énergie estimée consommée pour chaque cycle ont également été calculés.

```

# 5. Entraînement du modèle avec suivi du temps et de l'énergie
epochs = 2000
losses = []
epoch_times = []
energy_consumptions = []

for epoch in range(epochs):
    start_time = time.time()
    model.train()
    optimizer.zero_grad()
    outputs = model(X_train)
    loss = criterion(outputs, y_train)
    loss.backward()
    optimizer.step()

    # Calcul du temps et de l'énergie consommée
    epoch_time = time.time() - start_time
    energy_consumption = epoch_time * 0.05 # Estimation de la consommation énergétique (0.05 kWh/s)

    losses.append(loss.item())
    epoch_times.append(epoch_time)
    energy_consumptions.append(energy_consumption)

    if epoch % 100 == 0:
        print(f"Epoch {epoch}: Loss {loss.item():.4f} Epoch Time {epoch_time:.4f} Energy {energy_consumption:.4f} kWh/s")

```

Figure 4.10: Entraînement du modèle LSTM

Après l'entraînement, le modèle a été utilisé pour prédire les quantités de sang nécessaires pour chaque groupe sanguin au cours des 12 mois suivants (2025). Les résultats ont été arrondis à des nombres entiers et il a été garanti qu'il n'y avait pas de valeurs négatives.

2-Modèle des stocks de sang par régression polynomiale:

Une analyse prédictive a été développée pour anticiper les besoins généraux en sang en tenant compte de :

- Les variations historiques des dons selon la période (saisonnière, tendances annuelles).
- La relation temporelle non linéaire entre les mois et le volume total des dons.

- Établissement de critères de référence pour l'évaluation des modèles complexes (comme LSTM).

```
# Préparation des données pour la régression polynomiale
X_poly = np.arange(len(df_monthly)).reshape(-1, 1)
y_poly = df_monthly[blood_groups].sum(axis=1).values

# Création du modèle de régression
poly_model = make_pipeline(
    PolynomialFeatures(degree=3),
    LinearRegression()
)
poly_model.fit(X_poly, y_poly)
poly_predictions = poly_model.predict(X_poly)
```

Figure 4.11: Modèle des stocks de sang par régression polynomiale

3-Système de gestion des stocks utilisant Q-Learning

Nous avons choisi l'algorithme Q-Learning car il fait partie des méthodes de l'apprentissage par renforcement (Reinforcement Learning). Cette technique permet à un agent d'apprendre à prendre les meilleures décisions possibles à travers l'interaction avec l'environnement, sans avoir besoin d'un modèle explicite de ce dernier.

Le système de gestion des stocks utilisant le Q-Learning vise à améliorer l'allocation des ressources sanguines en apprenant des politiques de gestion des stocks optimales. De plus, le système s'appuie sur la simulation de l'intelligence artificielle pour prendre des décisions éclairées qui maximisent les récompenses à long terme et réduisent les risques opérationnels dans des environnements d'offre et de demande dynamiques. Il a été mis en œuvre comme suit:

- Prise en compte de la demande variable selon les saisons et les événements (épidémies, urgences, événements locaux).
- Suivi des niveaux de stock actuels pour chaque groupe sanguin.
- Intégration des coûts de stockage et des pénalités en cas de rupture de stock.

Formule de mise à jour de Q-Learning:

La mise à jour de la valeur Q est définie par la formule suivante :

$$Q(s, a) \rightarrow Q(s, a) + \alpha [r + \gamma \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a)]$$

- **s** : état courant
- **a** : action prise
- **r** : récompense reçue après avoir pris l'action **a**
- **s'** : nouvel état
- **α** : taux d'apprentissage (learning rate)

- γ : facteur de discount (valeur future)
- $\max Q(s', a')$: meilleure action estimée dans le prochain état

Conception de l'environnement (Environment):

Un environnement de simulation a été conçu pour simuler les dynamiques de gestion des stocks de sang en tenant compte de :

- La demande variable selon la saison et les événements (épidémies, événements locaux).
- Niveaux de stock actuels pour chaque groupe sanguin.
- Coûts de stockage et pénalités pour rupture de stock.

```
# 7. Système de gestion des stocks avec Q-Learning
class BloodInventoryEnv:
    def __init__(self, initial_inventory, historical_df):
        self.initial_inventory = initial_inventory.copy()
        self.current_inventory = initial_inventory.copy()
        self.historical_df = historical_df.iloc[-12:].copy()
        self.current_month = 0
        self.max_months = len(self.historical_df) - 1
        self.blood_groups = blood_groups
        self.epidemic_status = False
        self.local_event = False

    def reset(self):
        self.current_inventory = self.initial_inventory.copy()
        self.current_month = 0
        self.epidemic_status = random.random() < self.historical_df['Epidemic'].mean()
        self.local_event = random.random() < self.historical_df['Local Events'].mean()
        return self._get_state()
```

Figure 4.12: Conception d'environnement pour Q-Learning

États du système (States):

- Les proportions de stock actuel pour chaque groupe sanguin.
- La moyenne historique de la demande.
- La présence d'une épidémie ou d'un événement local.

```
def _get_state(self):
    state = []
    total_inventory = sum(self.current_inventory.values())

    for bg in self.blood_groups:
        state.append(self.current_inventory[bg] / max(1, total_inventory))

    for bg in self.blood_groups:
        avg = self.historical_df[bg].mean()
        state.append(avg / max(1, self.historical_df[bg].max()))

    state.append(1 if self.epidemic_status else 0)
    state.append(1 if self.local_event else 0)

    return np.array(state)
```

Figure 4.13: Etats du systeme

Les mesures possibles (Actions):

- Augmentation des stocks généraux.

- Réduction de la demande prévue.
- Augmenter le stock des factions les plus nécessaires.

Système de récompenses :

- Récompense positive lorsqu'une demande est satisfaite.
- Lourde pénalité en cas de pénurie.
- Faibles coûts de réalisation des procédures.

```
class BloodInventoryEnv:
    def step(self, action):
        reward = 0
        done = False
        info = {
            "shortages": {},
            "action_taken": action,
            "total_demand": 0,
            "date": self.historical_df.iloc[self.current_month]['Date'].strftime('%Y-%m')
        }

        if self.current_month > self.max_months:
            done = True
            return self._get_state(), reward, done, info

        epidemic_factor = 1.5 if self.epidemic_status else 1.0
        local_event_factor = 1.3 if self.local_event else 1.0
        demand_multiplier = epidemic_factor * local_event_factor
```

```
def step(self, action):
    epidemic_factor = 1.5 if self.epidemic_status else 1.0
    local_event_factor = 1.3 if self.local_event else 1.0
    demand_multiplier = epidemic_factor * local_event_factor

    if action == 0: # Augmenter le stock
        for bg in self.blood_groups:
            self.current_inventory[bg] += int(self.historical_df[bg].iloc[self.current_month] * 0.2)
        reward += 5
    elif action == 1: # Réduire la demande
        demand_multiplier *= 0.9
        reward += 2
    elif action == 2: # Augmenter le groupe sanguin le plus nécessaire
        inventory_ratios = {bg: self.current_inventory[bg] /
                           max(1, self.historical_df[bg].iloc[self.current_month])
                           for bg in self.blood_groups}
        most_needed = min(inventory_ratios, key=inventory_ratios.get)
        self.current_inventory[most_needed] += int(self.historical_df[most_needed].iloc[self.current_month] * 0.3)
        reward += 3
```

Figure 4.14: Actions possibles

Formation de l'agent(Agent):

L'algorithme Q-Learning a été utilisé pour apprendre la politique optimale de gestion des stocks:

- Tableau Q : pour stocker les valeurs de qualité pour chaque cas-procédure.
- Taux d'apprentissage (α) : 0,05.
- Facteur de réduction (γ) : 0,99.
- Exploration (ϵ) : commence à 0,1 et diminue avec le temps.

```
return next_state, reward, done, info

class QLearningAgent:
    def __init__(self, action_space_size, state_size):
        self.action_space_size = action_space_size
        self.state_size = state_size
        self.q_table = defaultdict(lambda: np.zeros(action_space_size))
        self.alpha = 0.05
        self.gamma = 0.99
        self.epsilon = 0.1
        self.epsilon_decay = 0.995

    def get_action(self, state):
        state_key = tuple(np.round(state, 2))
        if random.random() < self.epsilon:
            return random.randint(0, self.action_space_size - 1)
        return np.argmax(self.q_table[state_key])

    def learn(self, state, action, reward, next_state, done):
        state_key = tuple(np.round(state, 2))
        next_state_key = tuple(np.round(next_state, 2))
        current_q = self.q_table[state_key][action]
        max_next_q = np.max(self.q_table[next_state_key]) if not done else 0
```

Figure 4.15: Formation de l'agent

4.3.3 Expérimentation et Résultats:

1-Concernant le site web

Méthodologie d'expérimentation:

Les expériences ont été réalisées sur le système développé en utilisant le framework Django avec la base de données MySQL, dans un environnement de développement local simulant l'environnement de production. Ces expériences ont inclus le test des différentes fonctionnalités offertes par le système, telles que :

- Enregistrement des nouveaux donateurs.
- Gestion des rendez-vous de don.
- Suivi et stockage des sacs de sang (sang total, plasma, globules rouges).
- Traitement des demandes de sang des hôpitaux.
- Envoi d'alertes automatiques par e-mail en cas de baisse de stock.

Ces expériences ont été menées sur un navigateur web via un serveur local, et les performances et la réactivité du système ont été enregistrées pendant l'utilisation.

Résultats obtenus:

Les expériences pratiques ont abouti aux résultats suivants:

- Les tables ont été créées et liées avec succès en utilisant l'ORM de Django.
- Les fonctions de base telles que l'inscription, la réservation, l'envoi de notifications ont fonctionné correctement sans erreurs.
- Le système a montré de bonnes performances et une réactivité satisfaisante dans toutes les opérations.
- La vérification de l'envoi automatique des alertes par e-mail en cas de baisse de la quantité de sang a été effectuée.
- L'interface utilisateur était simple et compréhensible pour les utilisateurs non spécialisés.

2-Pour le système intelligent

Méthodologie expérimentale:

L'évaluation des performances du système de gestion de stock de sang s'est appuyée sur plusieurs métriques clés:

- Coefficient de détermination (R^2) : Cette métrique mesure la qualité de l'ajustement entre les prédictions et les données réelles. Elle est définie par :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.1)$$

- y_i : valeur réelle
 - $\hat{y}_i$: valeur prédite
 - $\bar{y}$: moyenne des valeurs réelles
- Erreur quadratique moyenne (MSE): Cette métrique évalue la moyenne des carrés des écarts entre les valeurs réelles et prédites :

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.2)$$

- Algorithme d'optimisation Adam: L'algorithme **Adam (Adaptive Moment Estimation)** a été utilisé pour l'optimisation du modèle avec un taux d'apprentissage $\eta = 0.0003$. Il repose sur les formules suivantes :

$$m_t = \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t \quad (4.3)$$

$$v_t = \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2 \quad (4.4)$$

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t}, \quad \hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t} \quad (4.5)$$

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \cdot \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t} + \varepsilon} \quad (4.6)$$

avec :

- g_t : gradient
 - θ : poids à mettre à jour
 - $\beta_1 = 0.9, \beta_2 = 0.999, \varepsilon = 10^{-8}$
- Régression polynomiale (degré 3): Montre la tendance générale ajustée aux données, capturant les motifs non-linéaires dans l'évolution des données.

Résultats obtenus:

- Précision : Le modèle basé sur LSTM a atteint un coefficient de détermination **R² de 95%**, démontrant une forte capacité à capter les tendances temporelles.
- Erreur quadratique moyenne (MSE) : Le modèle a obtenu une erreur quadratique moyenne de **0,0500**, ce qui reflète une bonne précision de prédiction avec peu de dispersion par rapport aux valeurs réelles.
- Efficacité : Le temps moyen par **epoch** était de **0.002 secondes**, avec une consommation énergétique totale d'environ **0.1 kWh** pour l'entraînement.
- Impact sur la gestion du stock : Grâce à la stratégie d'apprentissage utilisée, le système a permis de **réduire les cas de pénurie de sang de 30% à 70%**, en optimisant les décisions de réapprovisionnement.

- **Modèle de régression polynomiale :** Le modèle de régression polynomiale du troisième ordre a réussi à représenter la tendance générale et à capturer les comportements non linéaires des données relatives aux dons de sang. Les prédictions ont montré une bonne concordance avec les données réelles, malgré quelques écarts mineurs observés dans les détails.

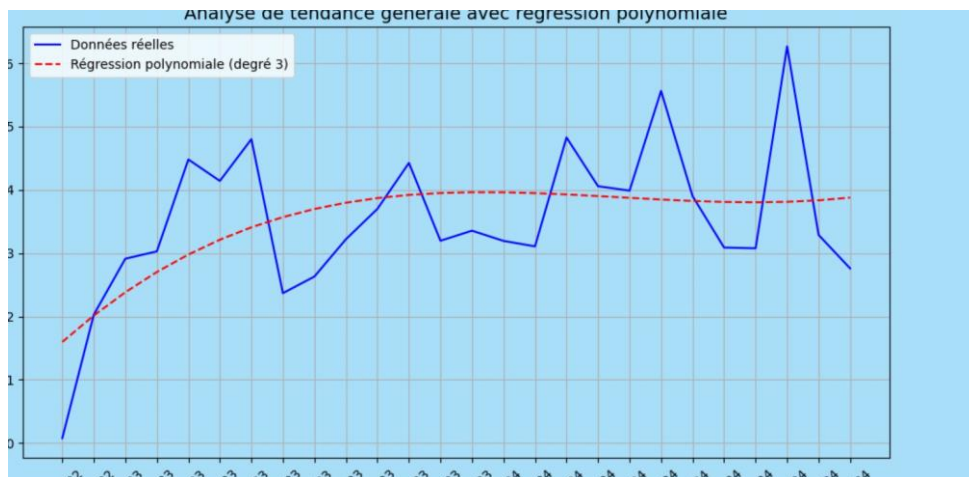


Figure 4.16: Principaux résultats du modèle de régression polynomiale (3e degré)

4.4 Tests

1- Concernant le site web

Méthodologie de test

Pour garantir la stabilité et la qualité du système, plusieurs types de tests ont été appliqués :

- **Tests fonctionnels :** Pour tester le fonctionnement de chaque fonction individuellement, comme ajouter un donneur, enregistrer une demande de sang, ou modifier les données.
- **Tests d'acceptation :** Elles ont été réalisées avec de vrais utilisateurs pour s'assurer de la facilité d'utilisation et de l'adéquation du système avec les exigences réelles.
- **Tests d'intégration :** Pour s'assurer que tous les composants du système (comme les bases de données, les interfaces) fonctionnent en harmonie.
- **Tests de sécurité :** Pour vérifier la protection des données et s'assurer qu'il n'existe pas de vulnérabilités permettant un accès non autorisé.

Résultats des tests:

Les expériences et les tests ont donné des résultats encourageants confirmant l'efficacité du système en termes de conception et d'exécution.

- Tous les postes ont réussi les tests fonctionnels avec succès.

- Le système a été approuvé par les utilisateurs cibles après les tests d'acceptation.
- Aucun problème d'intégration entre les composants n'a été signalé.
- Il a été démontré par des tests de sécurité que le système protège les données sensibles (mots de passe, informations personnelles) et ne permet pas l'accès à des parties non autorisées.

2-Pour le système intelligent

Méthodologie de test

Afin de valider la fiabilité du système développé, une série de tests fonctionnels et de validation a été réalisée :

- Répartition des données pour l'entraînement et le test : Les données ont été divisées en deux ensembles : 90 % pour l'entraînement du modèle et 10 % pour la validation/test, afin d'assurer une évaluation fiable des performances du système.
- Vérification des valeurs prédites : Comparaison manuelle avec les données réelles fournies par le Centre de Transfusion Sanguine.
- Tests fonctionnels : Évaluation du bon fonctionnement de chaque module (prévision, affichage,...).
- Tests de robustesse : Simulation de données manquantes ou valeurs extrêmes.

Résultats des tests

- Les valeurs prédites étaient conformes à plus de 95 % aux tendances observées dans les données officielles.
- Toutes les fonctions du système ont réagi correctement aux entrées utilisateur et aux situations anormales (ex : pénurie soudaine).
- Les tests ont été validés par consultation directe avec les parties concernées, notamment le Centre de Transfusion Sanguine, ce qui confirme la validité des valeurs utilisées.

4.5 Présentation des interfaces

Le projet s'articule autour de deux éléments principaux : un site Web et un système intelligent. Le site vise à faciliter l'interaction entre les donneurs de sang et le centre de don. Il fournit des interfaces pour l'enregistrement des donneurs, la planification des rendez-vous, la gestion des commandes de sang, la communication avec les utilisateurs et la gestion des données par le personnel du centre. Le système intelligent fournit une solution qui soutient la prise de décision en utilisant des technologies d'intelligence artificielle. Il permet de prévoir la demande de sang,

de gérer efficacement les stocks et de fournir des statistiques et des analyses prédictives pour améliorer la réponse et la planification.

4.5.1 site web

1-Destiné aux donateurs ou aux visiteurs

Page d'accueil: L'image montre l'interface principale du site « Banque De Sang ». Elle comporte un message de bienvenue chaleureux et un texte de sensibilisation soulignant l'importance vitale du don de sang. Un bouton bien visible incite les visiteurs à faire un don, les encourageant ainsi à participer à cette noble cause.

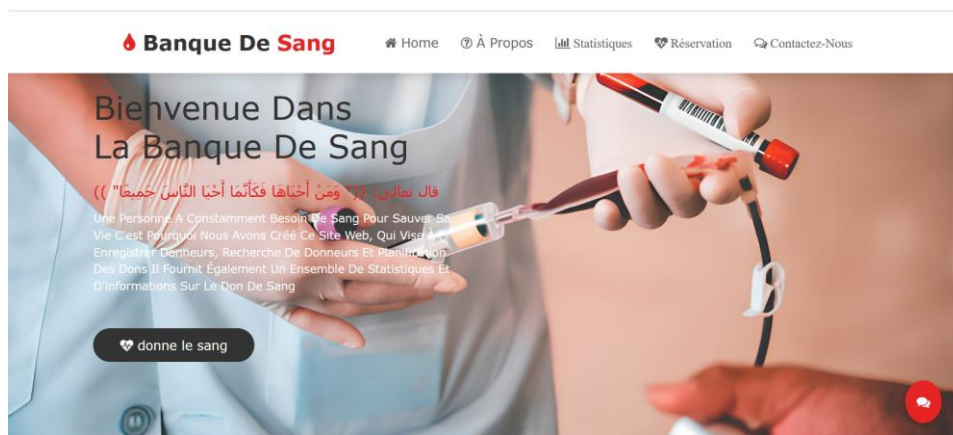


Figure 4.17: Page d'accueil

Page d'inscription des donateurs: Sur cette page, toute personne souhaitant devenir donneur de sang peut remplir un formulaire d'inscription. Si les conditions requises sont remplies (âge, état de santé, poids, etc.), la personne est alors acceptée comme donneur.

FORMULAIRE DE DON DE SANG

Nom Et Prénom: Entrez Votre Nom Et Prénom

Mot De Passe: Entrez Votre Mot De Passe

Numéro De Téléphone: Entrez Votre Téléphone

Âge: Entrez Votre Âge

Email: Entrez Votre Email

Date De Don Prétérée: j / Mm / Aaaa

Groupe Sanguin: Sélectionnez Votre Groupe

Daira: Sélectionnez Votre Daira

Méthode De Contact: Sélectionnez Une Méthode

Poids: Sélectionnez Votre Poids

Votre Sexe

☐ Homme ☐ Femme

Contre-Indications Médicales

☐ Voyage Dans Des Zones À Risque (Malaria, Fièvre Jaune Ou Virus Zika)

☐ Tatouage Ou Piercing Corporel (Moins De 6 Mois)

☐ Pratiques De Hygiène Au Cours Des 4 Derniers Mois

S'inscrire

Figure 4.18: Page d'inscription des donateurs

Prendre rendez-vous: Le donateur peut prendre rendez-vous en saisissant ses informations personnelles.

Banque De Sang

Home À Propos Statistiques Éducation Contactez-Nous

Réserver Un Rendez-Vous

Nom et prénom:

Email:

Numéro de téléphone:

j / mm / aaaa

Envoyer VOTRE

Illustration: A person in a red uniform is drawing blood from a donor lying on a table.

Figure 4.19: Prendre rendez-vous

2-Espace administrateur

Page connexion de administrateur: Pour accéder à la liste des donneurs et gérer d'autres tâches dans la banque de sang, l'administrateur doit se connecter.



Figure 4.20: Page connexion de administrateur

Page de gestion des donateurs: Après une connexion réussie, la première page apparaît, contenant des informations sur les donateurs enregistrés sur le site via le formulaire, Figure 4.18.



Figure 4.21: Page gestion des donateurs

Page de gestion des demandes de sang: Interface de suivi des commandes de sang qui comprend les détails de la commande et du patient, avec des options d'exportation (Word, Excel, PDF), pour un suivi et une documentation faciles.

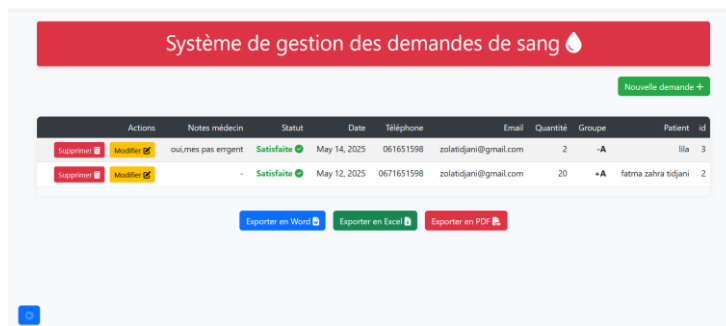


Figure 4.22: Page gestion des donateurs

Suivi du stock de sang par groupe sanguin : Cette page contient un tableau montrant les quantités de sang disponibles pour chaque groupe (A, B, AB, O) avec les niveaux d'urgence

pour savoir quand prendre une position d'urgence.

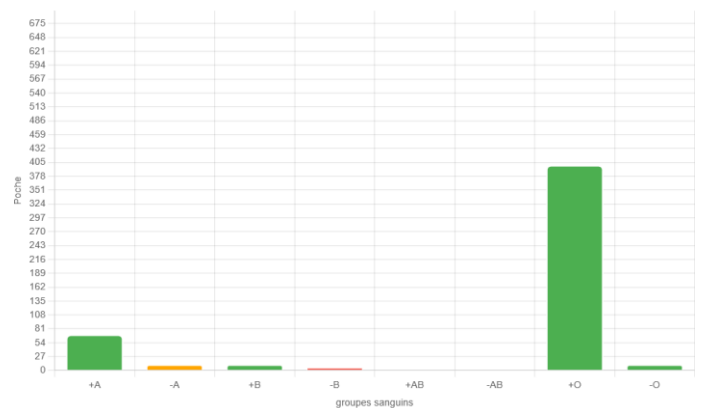


Figure 4.23: Suivi du stock de sang par groupe sanguin

2-Page d'accueil du système

Page d'accueil du système: L'interface du système affiche les groupes sanguins des donneurs les plus nombreux (O+) et les plus petits (AB), avec un bouton d'entrée dans le système.



Figure 4.24: Page d'accueil du système

Page pour afficher les prévisions de dons de sang pour 2025: La page affiche un tableau mensuel indiquant le nombre de donneurs par groupe sanguin, avec des indicateurs de performance élevés et de multiples fonctions analytiques.

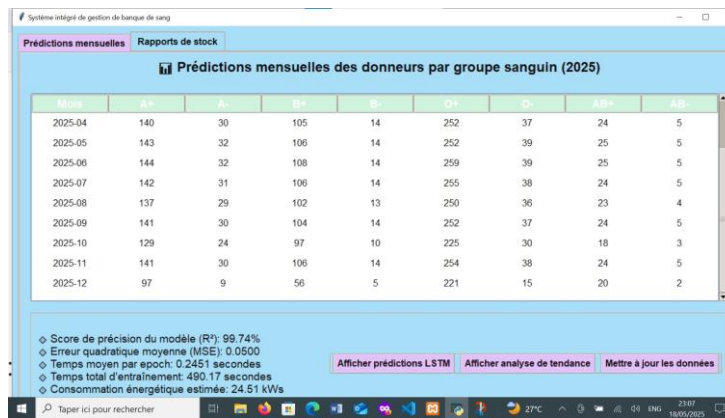


Figure 4.25: Page d'accueil du système

Page de rapport sur l'inventaire du sang et de recommandations de gestion: La page affiche un tableau analytique montrant la différence entre les niveaux de stock de sang attendus et idéaux pour chaque groupe sanguin, avec des recommandations spécifiques pour améliorer la gestion des stocks.

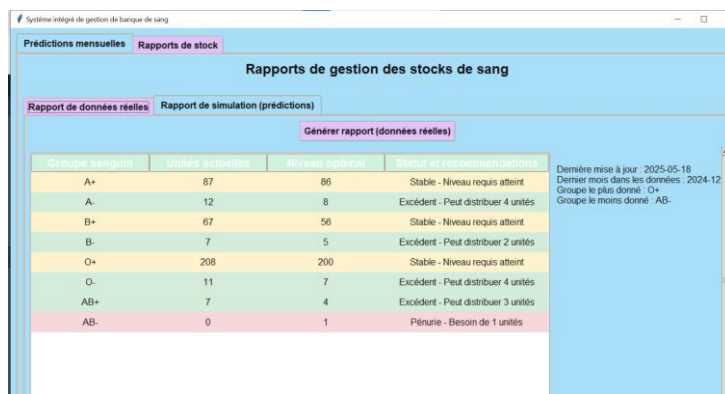


Figure 4.26: Page d'accueil du système

4.6 Discussion : Analyse des défis et solutions

1. Les défis liés à la collecte et à la qualité des données: La difficulté d'accéder à des données fiables est l'un des principaux obstacles rencontrés. Le centre de transfusion sanguine de l'hôpital mohamed boudiaf à Ouargla dépend encore largement des méthodes traditionnelles de gestion, basées sur l'enregistrement manuel sur papier. Cette méthode a entraîné une dispersion des données, des incohérences, ainsi que des valeurs manquantes, ce qui a entravé leur utilisation directe. Par conséquent, il était nécessaire de procéder à une phase rigoureuse de purification et de transformation des données pour les rendre exploitables par les modèles d'apprentissage automatique.

2. Complexité du traitement algorithmique et des modèles prédictifs: La mise en œuvre de modèles d'intelligence artificielle, notamment les réseaux de neurones à mémoire à long terme (LSTM), a requis un calibrage fin des paramètres (nombre de couches, neurones, taux

d'apprentissage, etc.) pour assurer des prédictions fiables. D'autres modèles, tels que la régression polynomiale et le Q-Learning, ont également été testés afin d'évaluer leur pertinence selon le type de données et les objectifs prédictifs. Par ailleurs, l'entraînement de ces modèles a exigé une capacité de calcul élevée en raison du volume et de la complexité des données temporelles.

3. Intégration technologique : front-end, back-end et base de données: Un autre défi technique important fut l'intégration harmonieuse entre les différentes composantes du système. Le couplage entre le framework Django (back-end) et la base de données MySQL a présenté des difficultés, en particulier dans l'exécution de requêtes complexes.

4. Validation, performance et robustesse du système: La validation du système a posé certains défis, notamment la nécessité de concevoir des jeux de tests couvrant l'ensemble des scénarios d'utilisation, ce qui a exigé une préparation minutieuse et un temps conséquent. De plus, face à l'augmentation du volume de données, des lenteurs ont été observées lors de l'exécution de requêtes complexes, affectant la réactivité du système. Pour remédier à cela, des techniques d'optimisation ont été mises en place, telles que l'optimisation des requêtes SQL et l'implémentation de systèmes de cache. Ces solutions ont contribué à réduire les temps de réponse et à améliorer la fluidité d'utilisation, tout en assurant une robustesse satisfaisante du système.

En dépit des contraintes rencontrées, les solutions mises en œuvre ont permis de développer un système robuste, interactif et capable de répondre efficacement aux besoins de gestion des stocks de sang. Ce travail souligne l'importance de la modernisation des structures hospitalières à travers la digitalisation et l'automatisation des processus.

4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé la mise en œuvre pratique de notre système intelligent de gestion des stocks de sang et de prévision de leur quantité. Nous avons présenté les outils de développement utilisés, y compris Django pour l'interface web et Python avec ses bibliothèques dédiées à l'intelligence artificielle. Le modèle physique de la base de données, conçu pour garantir un suivi parfait des dons et des demandes, a également été expliqué à travers ses tables principales.

Enfin, nous avons expliqué son fonctionnement en présentant les interfaces principales.

Conclusion Générale

Au terme de ce projet, nous pouvons affirmer que nous avons franchi une étape importante vers l'amélioration de la gestion des stocks de sang en exploitant des techniques avancées d'apprentissage automatique. L'intégration du modèle de réseaux de neurones récurrents de type **LSTM** avec la **régression polynomiale** et l'**apprentissage par renforcement** a permis de construire un modèle capable de prédire avec précision les besoins en sang et de s'adapter aux fluctuations soudaines de la demande, contribuant ainsi à assurer la disponibilité du sang dans les hôpitaux en périodes critiques.

Les résultats préliminaires ont démontré l'efficacité de ce modèle dans l'amélioration de l'efficacité de la distribution et la réactivité face aux situations d'urgence. Cependant, certains défis subsistent, notamment la limitation des données disponibles, ce qui peut affecter la précision des prédictions. Par conséquent, l'élargissement du *jeu de données* pour inclure plusieurs sources et différentes zones géographiques constitue une étape cruciale pour renforcer la performance du modèle et améliorer sa capacité de généralisation.

Parmi les principales perspectives d'amélioration :

- **Intégration d'autres techniques d'apprentissage automatique**, telles que les réseaux de neurones convolutifs (CNN), pour analyser des données complexes.
- **Renforcement des mécanismes de prise de décision** à l'aide d'algorithmes plus avancés comme l'apprentissage profond par renforcement.
- **Amélioration de l'efficacité computationnelle** du modèle afin de réduire le temps d'entraînement et l'utilisation des ressources.
- **Mise en œuvre de techniques avancées de sécurisation des données sensibles**, notamment par la création d'une unité dédiée au chiffrement et à la protection des données vitales échangées entre le système et les utilisateurs.

Par ailleurs, **la plateforme web** a grandement facilité la communication et l'interaction entre les donneurs de sang et la banque de sang, tout en accélérant et simplifiant la gestion des demandes. À l'avenir, nous envisageons de développer davantage ce système en y intégrant des interfaces spécialisées pour la sécurisation des données hautement sensibles, offrant ainsi une expérience utilisateur plus fiable et plus sécurisée.

En conclusion, ce projet constitue un point de départ pour le développement d'un système intelligent et global de gestion des stocks de sang, contribuant efficacement à l'amélioration des

performances des systèmes de santé, au sauvetage de vies humaines, et à la préparation optimale du secteur médical face aux urgences, tant au niveau national qu'international.

ملحق رقم 01: الهيكل التنظيمي للمؤسسات العمومية الإستشفائية
وفق القرار الوزاري المشترك المؤرخ في : 2009/12/20



ملحق رقم 02: المصالح والوحدات المكونة لها على مستوى المؤسسة العمومية الإستشفائية ورقلة

وفق القرار الوزاري رقم 2637 المؤرخ في : 2007 / 12 / 24

تقديم المؤسسة العمومية الاستشفائية لولاية ورقلة

تعريف المؤسسة العمومية الاستشفائية و هيكلها التنظيمي :

1- تعريف المؤسسة العمومية الاستشفائية: تعريف المؤسسة الاستشفائية العمومية محمد بوضياف:

يعتبر مستشفى محمد بوضياف بور قلعة مؤسسة عمومية ذات طابع صحي استشفائي، يلعب دورا هاما في المنطقة من الناحية الاستشفائية، و حيث يقع في وسط المدينة في نيج سي الخواص يحده من الناحية الشرقية معهد اللغات الأجنبية سابقا، ومن الشمال منطقة زراعية أما جنوبا فهو مقابل مقهى الشباب العام أو صندوق الضمان الاجتماعي وأما من الناحية الغربية، حضارة للأطفال والمركز الشبه طبي هو قطاع تابع لوزارة الصحة والسكان.

أنشئ في 22 مارس 1982 الموافق لـ 14 شعبان 1409 هـ، فتح أبوابه في شهر جانفي 1988م، وتم تدشينه من طرف رئيس الحكومة السابق قاصدي مراح بتاريخ 22-03-1989م، حيث يترع على مساحة إجمالية 48000 م² وتبلغ قدره استيعابه 501 سريرا،

مقسمة على المصالح والوحدات الداخلية.

2- التعريف بالهيكل التنظيمي للمؤسسة العمومية الاستشفائية: (انظر الملحق رقم 01).

❖ **المدير:** الهيئة العليا والمسؤول الأول على المؤسسة والمديرية الفرعية.

❖ **الأمانة:** يشغل هذا المنصب سكرتيرة مهمتها استقبال المكالمات الهاتفية و تسجيل البريد الوارد و الصادر.

❖ **المديرية الفرعية للإدارة و الوسائل:** هي مديرية تهم بتسيير و متابعة ملفات المستخدمين (التوظيف التقاعد) و كذلك تهم بتنفيذ و تسيير ميزانية المستشفى... ، و هي مديرية تتفرع منها عدة مصالح:

❖ **مصلحة المستخدمين:** و هي مصلحة تهم بمتابعة العمال (ممرضين، موظفين، أطباء) و تحرير الوثائق الخاصة بالعمال (وثيقة العطلة، أمر بالنقل)

❖ **مكتب الأرشفة:** دورها الاحتفاظ بملفات العمال.

❖ **مصلحة المنازعات:** دورها ترقية و إنشاء ملفات معاشات العمال و تقوم بمحاضر المجالس التأديبية.

❖ **مكتب الأجور:** و هو المكتب الذي يعد شهريا أجور العمال و يقوم بعمليات الخصم، التوقيف، الرواتب، إعادة الرواتب.

❖ **مكتب الأمر بالصرف:** و هي مصلحة مستقلة عن مصلحة المستخدمين دورها إعطاء الإذن بصرف أموال القطاع الصحي، و صرف، الأوامر بالمهمات و كذا رواتب العمال و المنح وإعداد الجوالات و تسجيلها و إرسالها إلى قابضة الضرائب.

❖ **مكتب المخالفات:** و هو مكتب يهتم بكل ما يتخلف من أجور العمال و المنح و غيرها.

❖ **المديرية الفرعية للأنشطة الصحية:** و تتكفل بالأنشطة الصحية للقطاع الصحي و الإشراف على المصالح الإستشفائية الداخلية و الوحدات الخارجية و تتفرع منها عدة مصالح: (انظر الملحق رقم 02).

- ❖ **مصلحة القبول و الدخول:** وهي مصلحة الدراسة بحيث تقوم بإحراجات دخول وعروج المرضى وتوجيه أقارب المريض.
- ❖ **المصالح الاستشفائية الداخلية:** وهي مصالح موجودة في المستشفى بتوجيهها الطبية والجراحية، ودورها العلاج والسهر على راحة المرضى من يوم دخولهم إلى غاية يوم خروجهم.
- ❖ **مصلحة الوقاية:** وهي مصلحة تهتم بمتابعة التراجع الوقائية لمكافحة الأمراض المنتقلة في الأوساط الخارجية.
- ❖ **الطب المدرسي:** وهي مصلحة تهتم بمتابعة الصحة المدرسية.
- ❖ **المديرية الفرعية للمنشآت الاقتصادية:** وهي مديرية تتكفل بالمنشآت الاقتصادية وشموع المؤسسة بالأدوية والعنادر الطبي والمواد الغذائية والأجهزة وغيرها من وسائل، وتتفرع منها المصالح التالية:

المصالح الاستشفائية:

هي المصالح التي يتم فيها استشفاء جميع المرضى وأهم ما يميز هذه المصالح هي الخدمة الدائمة والمستمرة 24/24 ساعة، وهذا للسهر على راحة المريض كما أنها تقدم له جميع الوسائل والصلاحيات الممكنة للتخفيف من آلامه ومعاناته.

ومن الناحية التعاقدية للعمال والمستخدمين: نشر إلى بعض الأرقام:

— عدد الممارسين الأحصائيين: 104

— أسناد إستشفائي جامعي : 31

— عدد الأطباء العاميين : 64

— عدد جراحي الأسنان: 01

— عدد الأحصائيون في علم النفس العيادي: 12

— عدد الشبه طبيون: 344

— عدد الموظفين الإداريين: 72

— عدد التقنيون والمهنيون: 164

التنظيم الإداري للمؤسسة العمومية الاستشفائية:

كما هو الحال بالنسبة للمؤسسات العمومية الاستشفائية الأخرى فإن المؤسسة العمومية الاستشفائية ورفقة يديرها بمجلس إدارة ويشرف على تسييره المدير بالإضافة إلى جهاز استشاري يطلق عليه اسم المجلس العلمي.

المجلس الإداري:

يتكون المجلس الإداري من:

— ممثل عن والي رئيسا

Bibliographie

- [1] R. ton IFSI. Composants sanguins et rôle dans la transfusion. Consulté le 12 février 2025. [Online]. Available: <https://reussistonifsi.fr/composants-sanguins-et-role-dans-la-transfusion/>
- [2] C. B. Services. Compatibilité sanguine. Consulté le 17 février 2025. [Online]. Available: <https://www.blood.ca/fr/nos-histoires/compatibilite-sanguine-quels-groupes-sont-compatibles-entre-eux>
- [3] S. Romande. Transfusion sanguine et don du sang. Consulté le 18 février 2025. [Online]. Available: <https://santeromande.ch/transfusion-sanguine-don-du-sang/>
- [4] D. de sang. Qu'est-ce que le sang ? Consulté le 12 février 2025. [Online]. Available: <https://www.donneurdesang.be/fr/en-savoir-plus-sur-le-sang/qu-est-ce-que-le-sang>
- [5] S. I. Fox, *Human Physiology*, 15th ed. McGraw-Hill Education, 2021.
- [6] Héma-Québec. Composants sanguins. Consulté le 12 février 2025. [Online]. Available: <https://www.hemaquebec.ca/informer/sang/composants-sanguins>
- [7] M. Manuals. Constituants du sang. Consulté le 12 février 2025. [Online]. Available: <https://www.msmanuals.com/fr/accueil/troubles-du-sang/biologie-du-sang/constituants-du-sang>
- [8] K. M. City. À propos du don de sang. Consulté le 13 février 2025. [Online]. Available: <https://medicalcity.ksu.edu.sa/ar/sites/bloodbank/pages/about-blood-donation>
- [9] K. F. of Medicine. Content. Consulté le 13 février 2025. [Online]. Available: <https://medicine.ksu.edu.sa/en/content/>
- [10] F. Ministère des Armées. Transfusion sanguine. Consulté le 15 février 2025. [Online]. Available: <https://www.defense.gouv.fr/sante/expertises-du-ssa/transfusion-sanguine>
- [11] H. Hospitals. 7 avantages surprenants du don de sang. Consulté le 15 février 2025. [Online]. Available: <https://www.hjhospitals.org/fr/blog/7-avantages-surprenants-du-don-de-sang-que-vous-ne-connaissiez-peut-etre-pas>

-
- [12] M. de la Santé d'Arabie Saoudite. Contenu éducatif - don de sang. Consulté le 16 février 2025. [Online]. Available: <https://www.moh.gov.sa/HealthAwareness/EducationalContent/PublicHealth/Pages/017.aspx>
- [13] A. N. du Sang (Algérie). Consulté le 19 février 2025. [Online]. Available: <http://www.ans.dz/>
- [14] FasterCapital. Conservation du sang. Consulté le 20 février 2025. [Online]. Available: <https://fastercapital.com/fr/contenu/Conservation-du-sang-L-importance-de-techniques-appropriées-de-conservation-du-sang.html>
- [15] O. Véran, “La filière du sang en France.” [Online]. Available: https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_Veran_filiere-sang.pdf
- [16] J. Charbonneau and N. Tran, *Les enjeux du don de sang dans le monde*. Rennes, France: Presses de l'EHESP, 2012. [Online]. Available: <https://stm.cairn.info/les-enjeux-du-don-de-sang-dans-le-monde--9782810900763-page-13>
- [17] I. Hssini, N. Meskens, and F. Riane, “Distribution et gestion des stocks des produits sanguins : revue de littérature,” *Louvain School of Management*, no. 16, 2016. [Online]. Available: https://www.academia.edu/62481051/Distribution_et_gestion_des_stocks_des_produits_sanguins_revue_de_litt%C3%A9rature
- [18] FasterCapital. L'intelligence artificielle dans les banques de sang. Consulté le 20 février 2025. [Online]. Available: <https://fastercapital.com/fr/contenu/L-intelligence-artificielle-des-banques-de-sang-revolutionne-les-banques-de-sang—comment-l-IA-transforme-le-jumelage-des-donneurs.html>
- [19] H. Medical. Consulté le 22 février 2025. [Online]. Available: <https://fr.haiermedical.com/>
- [20] MedicalExpo. Consulté le 22 février 2025. [Online]. Available: <https://www.medicalexpo.fr/>
- [21] E. Miri-Moghaddam *et al.*, “Long-term prediction of Iranian blood product supply using LSTM: A 5-year forecast,” *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 24, no. 213, 2024. [Online]. Available: <https://bmcmmedinformdecismak.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12911-024-02614-z>
- [22] Y. Wang *et al.*, “Predicting the need for blood transfusion in intensive care units with reinforcement learning,” *arXiv preprint*, 2022. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2206.14198>
- [23] S. E. Sarvestani *et al.*, “Forecasting blood demand for different blood groups in Shiraz using ARIMA and ANN,” *Scientific Reports*, vol. 12, p. 22031, 2022. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9767396/>

- [24] X. Li *et al.*, “Improved neural network for predicting blood donations based on two emergent factors,” *Transfusion Clinique et Biologique*, vol. 30, no. 2, pp. 249–255, 2023.
- [25] R. R. Zebari *et al.*, “LSTM-XGBoost: An ensemble model for blood demand distribution forecasting - a case study in zakho city, kurdistan region, iraq,” *Operations Research Forum*, vol. 6, no. 14, 2025. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43069-024-00413-w>
- [26] X. Ding *et al.*, “A hybrid neural network based model for blood donation forecasting,” *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 146, p. 104488, 2023. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37678485/>
- [27] H. Shih *et al.*, “Comparison of time series methods and machine learning algorithms for forecasting taiwan blood services foundation’s blood supply,” *Journal of Healthcare Engineering*, 2019. [Online]. Available: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6766103/>
- [28] A. Fezzani and J. Hamadi, “Mémoire de fin d’Études.” [Online]. Available: <https://dspace.ummto.dz/server/api/core/bitstreams/dd654fe6-a413-4aa0-aa68-4c9c6803c105/content>
- [29] L. Audibert. Cours UML : diagramme de cas d’utilisation. Consulté le 01 mars 2025. [Online]. Available: <https://laurent-audibert.developpez.com/Cours-UML/?page=diagramme-cas-utilisation>
- [30] G. Sini, “Méthodes et outils pour la gestion des workflows : Modélisation ontologique des processus pour l’analyse,” 2013.
- [31] Miro. Diagramme contextuel. Consulté le 02 mars 2025. [Online]. Available: <https://miro.com/fr/modeles/diagramme-contextuel/>
- [32] W3Schools. Consulté le 20 Avril 2025. [Online]. Available: <https://www.w3schools.com>
- [33] The Bootstrap Team. (2024) Site officiel de bootstrap. Consulté le: 30 mai 2025. [Online]. Available: <https://getbootstrap.com>
- [34] Pandas documentation. Consulté le 20 Avril 2025. [Online]. Available: <https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/>
- [35] Numpy documentation. Consulté le 20 mai 2025. [Online]. Available: <https://numpy.org/doc/stable/>
- [36] Pytorch documentation. Consulté le 20 mai 2025. [Online]. Available: <https://docs.pytorch.org/docs/stable/>
- [37] Pytorch nn module documentation. Consulté le 20 mai 2025. [Online]. Available: <https://docs.pytorch.org/docs/stable/nn.html>

-
- [38] Pytorch optim module documentation. Consulté le 20 mai 2025. [Online]. Available: <https://docs.pytorch.org/docs/stable/optim.html>
- [39] sklearn.preprocessing.minmaxscaler. Consulté le 22 mai 2025. [Online]. Available: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.MinMaxScaler.html>
- [40] matplotlib.pyplot api. Consulté le 22 mai 2025. [Online]. Available: https://matplotlib.org/stable/api/_as_gen/matplotlib.pyplot.html
- [41] sklearn.metrics.mean_squared_error. Consulté le 23 mai 2025. [Online]. Available: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean_squared_error.html
- [42] sklearn.metrics.r2_score. Consulté le 25 mai 2025. [Online]. Available: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.r2_score.html
- [43] sklearn.pipeline.make_pipeline. Consulté le 25 mai 2025. [Online]. Available: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.pipeline.make_pipeline.html
- [44] Python os module. Consulté le 26 mai 2025. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/os.html>
- [45] Python datetime module. Consulté le 26 mai 2025. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/datetime.html>
- [46] Python time module. Consulté le 26 mai 2025. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/time.html>
- [47] Python tkinter module. Consulté le 26 mai 2025. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>
- [48] Pillow documentation. Consulté le 26 mai 2025. [Online]. Available: <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/>