



ÉCOLE CENTRALE CASABLANCA

RAPPORT

---

## Projet de simulation : FLEXSIM

---

***Élèves :***

Farida OUEDRAOGO  
Christian Thomas BADOLO  
Issiaka KANAZOE  
Mounira TRAORE  
Adil ZOMAHOUN  
Leviy ZAGBAI

***Encadrants :***

Lina ABOUELJINANE  
Achraf TOUIL

---

23 janvier 2024

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Description du système</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Fonctionnement du système</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Formulation du problème et modélisation</b>	<b>3</b>
4.1	Description des données . . . . .	3
4.2	Modélisation . . . . .	4
4.3	KPI d'études . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Scénarios</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Validation et vérification</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Analyse et discussions des résultats</b>	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>Défis rencontrés et alternatives</b>	<b>13</b>
<b>9</b>	<b>Conclusion</b>	<b>14</b>
<b>10</b>	<b>Contribution des membres de l'équipe</b>	<b>14</b>

# 1 Introduction

La simulation de systèmes de production joue un rôle essentiel dans l'analyse et l'amélioration des processus industriels. Elle offre une approche dynamique permettant de modéliser le comportement d'un système dans le temps et d'explorer différentes stratégies d'optimisation. Dans le cadre de notre cours sur la simulation et la file d'attente, nous avons l'opportunité de mettre en pratique ces concepts en réalisant un projet de simulation de système de production en groupe.

Notre objectif est d'identifier, modéliser et analyser un système de production de biens et de services. Nous avons choisi de nous focaliser sur la chaîne d'approvisionnement sanguin dans le domaine de la santé. Dans la suite, nous décrirons le fonctionnement de ce système et présenterons quatre scénarios visant à améliorer ses performances, accompagnés d'une analyse détaillée.

## 2 Description du système

La chaîne d'approvisionnement de sang est un système complexe et crucial qui implique plusieurs composantes fixes et mobiles[1]. Les éléments fondamentaux de ce système incluent les centres de transfusion, les blood centers (centres de collecte de sang) et les hôpitaux, qui forment l'infrastructure fixe.

Les centres de transfusion jouent un rôle central en tant que points névralgiques de collecte, de traitement, et de stockage du sang. Ils assurent la disponibilité constante de produits sanguins nécessaires aux interventions médicales. Les blood centers, en particulier, sont responsables de collecter le sang des donateurs, de le traiter, et de le distribuer aux hôpitaux en fonction de leurs besoins spécifiques.

Du côté des composantes mobiles, les blood mobiles sont des unités mobiles de collecte de sang qui se déplacent vers différentes zones géographiques pour déplacer le sang vers les hôpitaux et les banques de sang.

Au cœur de ce système se trouvent les donateurs, des individus altruistes qui font don de leur sang de manière volontaire. Leur engagement joue un rôle crucial dans le maintien de la chaîne d'approvisionnement en assurant un approvisionnement constant et suffisant en produits sanguins.

### **Composantes fixes du système :**

- Centres de transfusion
- Blood center
- Hôpitaux

### **Composantes mobiles du système :**

- Blood mobiles
- Les donateurs

## 3 Fonctionnement du système

Le processus de don de sang commence par l'arrivée du donneur au centre de don. Le donneur est alors évalué par un infirmier ou un médecin pour s'assurer qu'il est en bonne santé et qu'il peut donner du sang. Si le donneur est approuvé, il donne son sang par une

piqûre dans le bras. Le sang est ensuite prélevé dans une poche et transporté à la banque de sang.

À la banque de sang, le sang est testé pour s'assurer qu'il est sûr à transfuser. Les tests comprennent des tests pour la présence de maladies transmissibles, telles que le VIH, l'hépatite B et l'hépatite C. Si le sang possède des anomalies, alors il est rejeté. Sinon, il est acheminé à la banque de sang où il est divisé en différentes catégories en fonction de son type et de son Rhésus. Les différentes catégories de sang sont stockées dans des réfrigérateurs ou des congélateurs à une température contrôlée.

À la demande d'un hôpital, les poches de sang sont acheminées par les blood mobiles vers les hopitaux. Les poches de sang non allouées sont stockées. Les unités obsolètes sont rejetées. Lorsqu'un patient nécessite une transfusion sanguine, une évaluation de la compatibilité est effectuée. Si la compatibilité est confirmée, le patient est conduit pour la transfusion. En cas de non-compatibilité, le sang est renvoyé au stockage en attendant une affectation ultérieure.

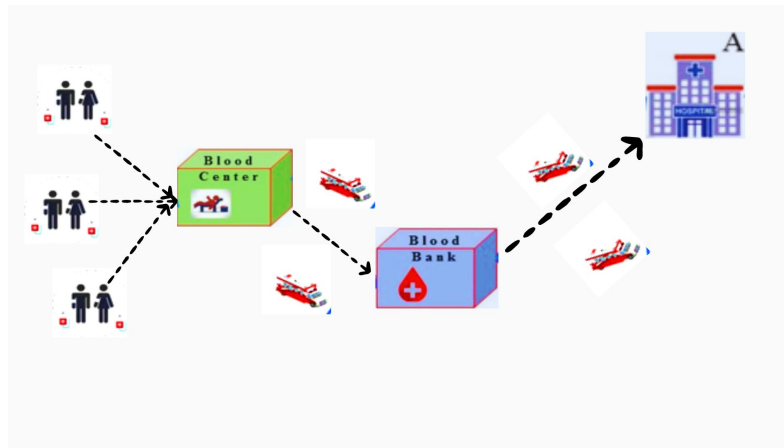


FIGURE 1 – Fonctionnement du système

## 4 Formulation du problème et modélisation

### 4.1 Description des données

**Objectif :** Diminuer le nombre d'unités en pénurie et les pertes (unités obsolètes) dans toute la chaîne d'approvisionnement.

Les politiques d'inventaire suggérées sont examinées et testées par rapport à quatre mesures cibles : (1) les unités obsolètes, (2) les unités en pénurie, (3) les incidents de non-concordance et (4) le nombre de livraisons d'unités non planifiées aux hôpitaux.

De plus étant donné que nous avons un système à concevoir, les distributions sont intuitives de sorte à ce qu'elles suivent la loi de poisson. Cela parce que si l'on suppose que les donneurs arrivent au centre de don à un rythme constant, alors **le temps d'inter-arrivée est une variable aléatoire de Poisson**. La loi de Poisson est une loi de probabilité qui décrit la probabilité d'occurrence de  $n$  événements indépendants et mutuellement exclusifs dans un intervalle de temps donné et qui est utilisé fréquemment dans ce type de système. Pour la présente modélisation nous avons parcouru plusieurs

références scientifiques et littérature puis consulter des articles de recherche en plus de notre article de base . Ces sources nous ont fourni des données empiriques, des études de cas et des informations sur des applications similaires. Les autres données provenant des bases de données françaises ont été choisi dans l'optique de ressembler à la réalité comme les capacités des ressources telles que le salles de stockage, la capacité de stockage de la banque de sang, celle des bloodmobiles et les durées d'expiration des composants sanguins).

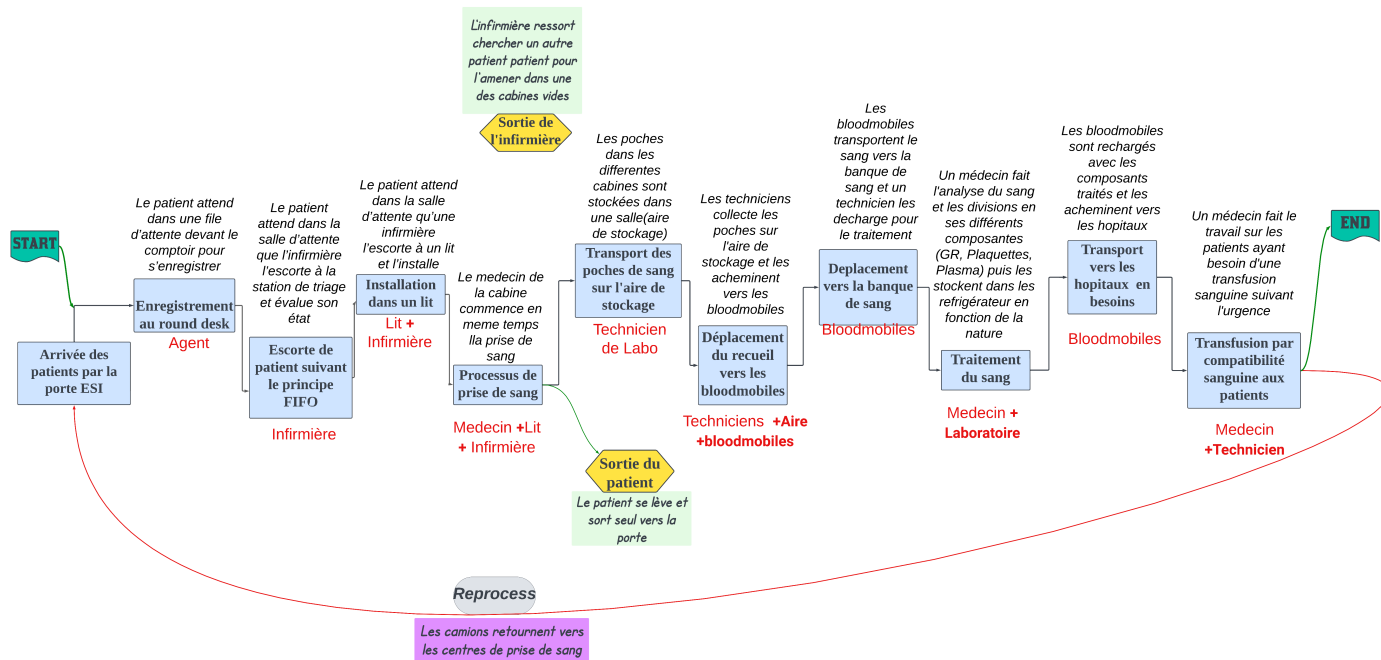


FIGURE 2 – Formulation données et process

## 4.2 Modélisation

Paramètres	Qualification	
Règle file d'attente	FIFO	
Temps de process médecin	Suivant une distribution : Loi de poisson	
Test sanguins : Division par aphérèse du sang en ses composants	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sang total en fonction du groupe sanguin : <i>chaque poche fait 450 ml, durée d'expiration 21 jours</i></li> <li>Globules rouges : <i>durée d'expiration 35 jours</i></li> <li>Plaquettes : <i>durée d'expiration 5 jours</i></li> <li>Plasma : <i>durée d'expiration 12 mois</i></li> </ul>	
Ressources	Nombre de ressources	Capacité des ressources
Lits	5	1 personne
Infirmières	1	-
Techniciens de Labo	8	-
Aire De Stockage	1	1000
Ambulances	2	2500
Machine de traitement	1	-
Réfrigérateur	10	25000
Médecins	5	-
Clerks	2	-

FIGURE 3 – Tableau des ressources et capacités

### 4.3 KPI d'études

Dans notre cas plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour mesurer la performance de la chaîne d'approvisionnement du sang. Le taux de dons de sang qui est le nombre de dons de sang par rapport à la population totale peut être utilisé pour mesurer la disponibilité du sang. Le taux de rejet de sang qui est le nombre de dons de sang rejetés par rapport au nombre total de dons de sang peut être utilisé pour mesurer la qualité du sang collecté. Le taux de perte de sang qui est le nombre de produits sanguins perdus en raison de la détérioration ou de la péremption peut être utilisé pour mesurer l'efficacité de la gestion des stocks. Le taux de livraison en temps opportun qui est le nombre de livraisons de produits sanguins effectuées dans les délais impartis peut être utilisé pour mesurer l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement de sang.

Dans notre étude nous allons nous concentrer sur 2 indicateurs principaux qui sont le **taux de livraison en temps opportun** (nombre d'unités en pénurie) et **taux de perte de sang** en raison de leur impact crucial sur le bon fonctionnement du système. Ce sont les KPI principaux impactant les pertes ou le bon fonctionnement du système.

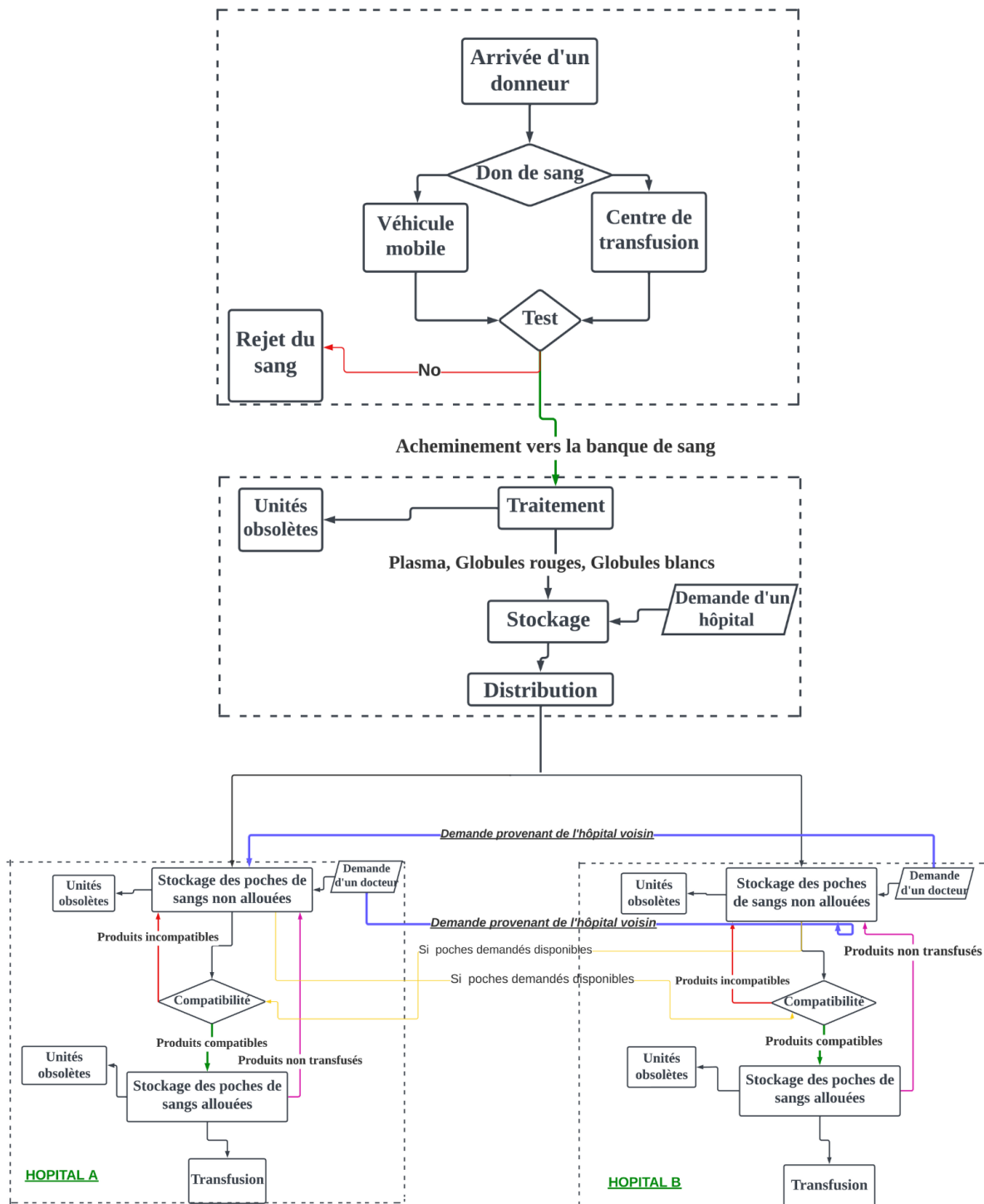


FIGURE 4 – Flowchart du problème de base



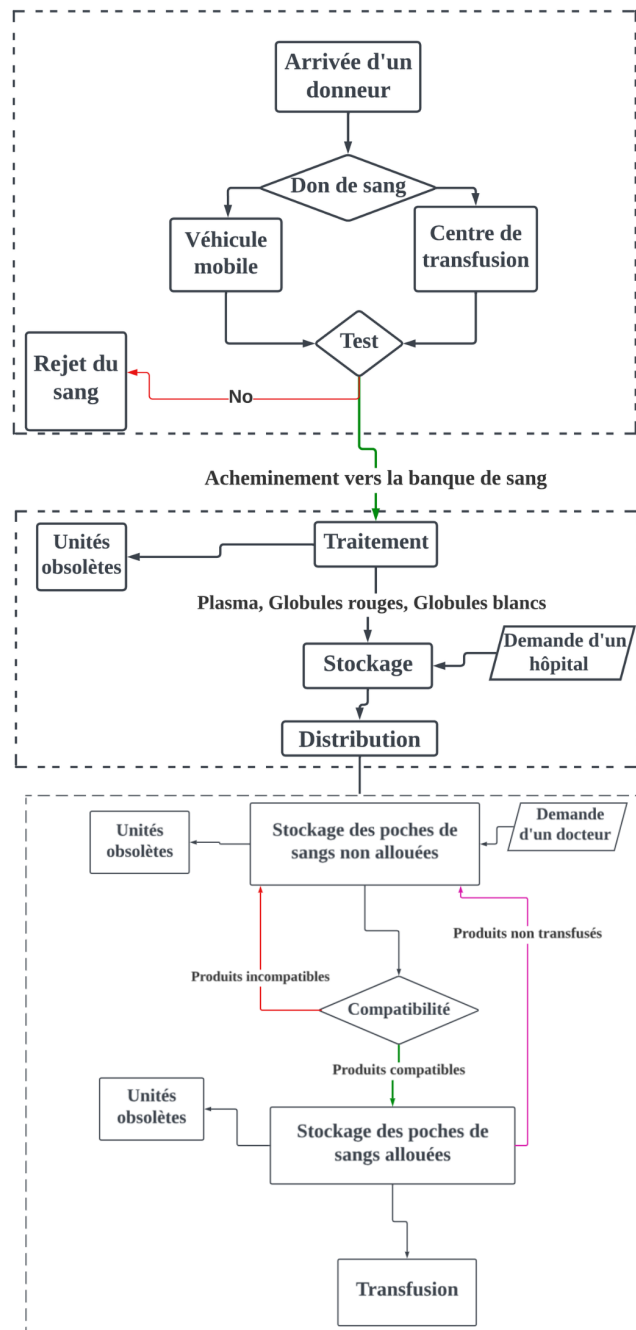


FIGURE 5 – Flowchart du problème final

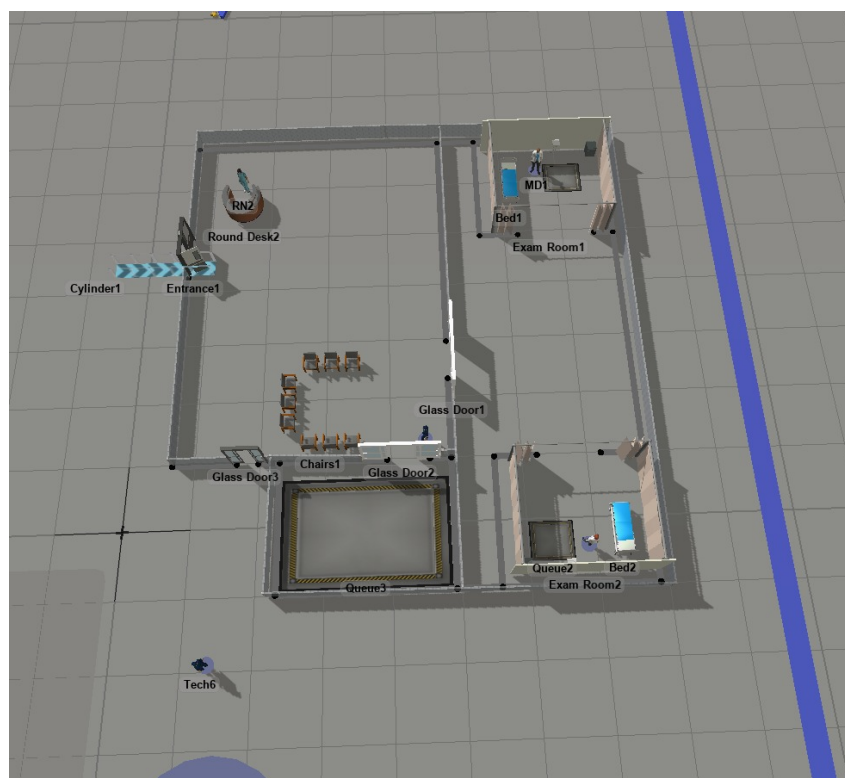


FIGURE 6 – Centre de prise de sang

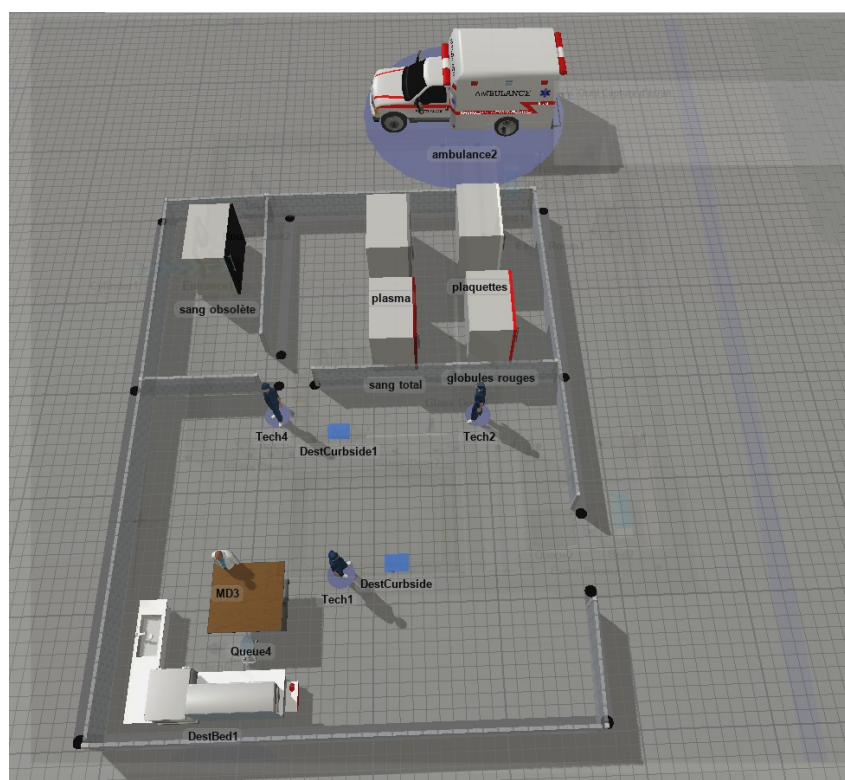


FIGURE 7 – Banque de Sang

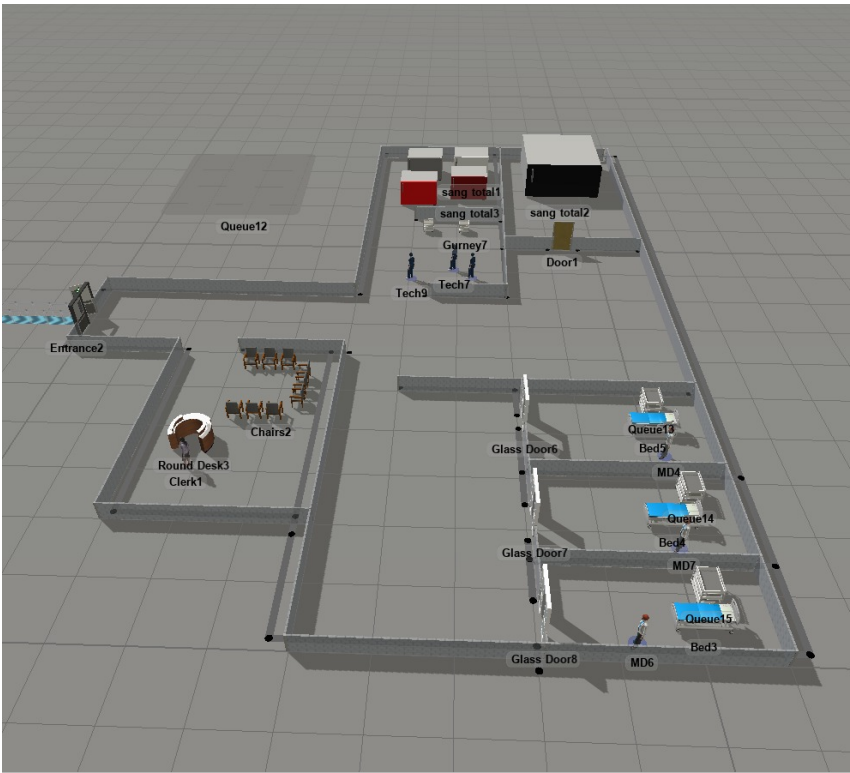


FIGURE 8 – Hopital où il y a transfusion sanguine

PerformanceMeasures

Performance Measures3

Name	Value	Display Units	Description
nombre de dons dans la cat	14		
nombre de dons dans la cat	9		
nombre de pénuries à l'hôpi	9.44		

Parameters

Parameters3

Name	Value	Display Units	Description
capacité du centre de	5		
stock de sang dans la	1		
vitesse du véhicule m	2		

FIGURE 9 – Entrée des performance-indicators

## 5 Scénarios

Pour évaluer les performances des indicateurs clés de notre étude, nous proposons 4 scénarios avec des leviers d’actions précis dans le cadre de votre modélisation sur FlexSim. Chacun de ces scénarios vise à tester spécifiquement le taux de livraison en temps opportun (c’est-à-dire la gestion des pénuries) et le taux de perte de sang (unités obsolètes).

### **Scénario :1 Charge Maximale**

Ici l’objectif est d’augmenter le nombre de donneurs et la demande en produits sanguins pour simuler une situation de charge maximale. Les indicateurs à surveiller sont le taux de livraison en temps opportun et le taux de perte de sang. Par ailleurs ce scénario examine la capacité du système à gérer une demande accrue en produits sanguins. Observez comment les indicateurs de performance réagissent sous une charge maximale.

### **Scénario 2 : Gestion des Stocks**

L’objectif est de modifier les politiques de gestion des stocks, notamment la capacité des armoires frigorifiques de la banque de sang. Les indicateurs à surveiller sont le taux de livraison en temps opportun et le taux de perte de sang. Puis on compare les performances du système en fonction de différentes stratégies de gestion des stocks. Identifiez celle qui optimise la disponibilité tout en minimisant les pertes.

### **Scénario 3 : Gestion des Pénuries**

Le but est de simuler des situations de pénurie en ajustant la capacité des centres de transfusion. Ensuite il faudra surveiller le temps de livraison en temps opportun et le nombre d’unités en pénurie c’est-à-dire les poches de sang ou de composants qui vont manquer par rapport à la demande de l’hôpital. En fin de compte il faut évaluer la capacité du système à maintenir une disponibilité adéquate pour les demandes malgré les contraintes de capacité.

### **Scénario 4 : Gestion des Délais de Traitement :**

Dans ce cas il faut varier les temps de traitement par personne au centre de transfusion pour évaluer au final leur impact sur la disponibilité des produits sanguins et la ponctualité des livraisons. L’indicateur à surveiller est toujours le taux de livraison en temps opportun.

## 6 Validation et vérification

La validation et la vérification d’un modèle FlexSim sont des étapes cruciales du processus de développement du modèle, visant à garantir que le modèle représente fidèlement le système réel et produit des résultats fiables.

La validation consiste à s’assurer que le modèle reflète correctement le comportement du système réel. Cela implique de comparer les résultats du modèle avec des données réelles ou des attentes basées sur des connaissances expertes pour confirmer que le modèle simule de manière précise les processus du monde réel. Les données historiques, les rapports opérationnels ou les observations directes peuvent être utilisés pour valider le modèle.

La vérification concerne la confirmation que le modèle a été correctement mis en œuvre dans le logiciel FlexSim. Elle implique de s’assurer que toutes les règles, les équations, les paramètres et les interactions du modèle sont corrects et conformes aux spécifications.

Cela peut inclure la vérification des paramètres des objets, des équations de processus, des liens entre les objets, etc. Ensuite nous avons joué sur plusieurs réplifications en utilisant l'Experimenter :

- Nombre de réplifications par scenario : 5
- Durée de chaque réplification : 20 jours avec une warm-up period de 3 jours.

Il existe différentes méthodes de validation et vérification de modèle. Nous avons opté pour **l'analyse de sensibilité** qui permet de comprendre comment les changements dans les paramètres influent sur les performances du système simulé. Par exemple, en ajustant le taux d'arrivée des donneurs de sang, nous pouvons évaluer la sensibilité du modèle aux fluctuations dans la disponibilité du sang. Nous avons lancé plusieurs fois la simulation pour vérifier la cohérence. Cette approche nous permet d'explorer différentes conditions opérationnelles et de vérifier la faisabilité des résultats obtenus.

## 7 Analyse et discussions des résultats

Nous soutenons l'idée qu'une augmentation du nombre de donneurs de sang pourrait efficacement atténuer le risque de pénurie, renforçant ainsi la disponibilité des produits sanguins. Parallèlement, l'amélioration de la capacité de stockage des banques de sang, ainsi que l'instauration d'une politique de stock minimum se présente comme une stratégie clé pour minimiser les risques de pénurie et optimiser les services au sein de la chaîne d'approvisionnement sanguin. Cette approche vise à garantir une disponibilité constante des produits sanguins, contribuant ainsi à une gestion plus efficace et résiliente de la chaîne d'approvisionnement. Nous avons testé une première fois mais il n'y avait pas de variation.

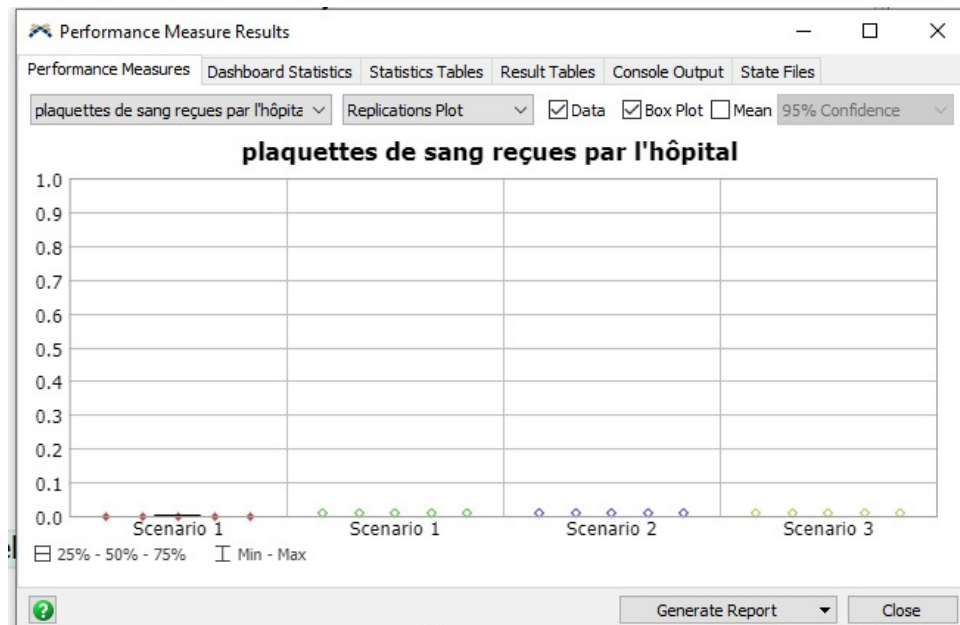


FIGURE 10 – Premier essai

Puis nous avons recommencé plusieurs fois et redéfini les paramètres de performance pour obtenir les résultats ci dessous.

PerformanceMeasures

Performance Measures 3

Name	Value	Display Units	Description
nombre de dons dans la cat	14		
nombre de dons dans la cat	9		
nombre de pénuries à l'hôpi	9.44		

Parameters

Parameters 3

Name	Value	Display Units	Description
capacité du centre de	5		
stock de sang dans la	1		
vitesse du véhicule m	2		

FIGURE 11 – Entrée des performance-indicators

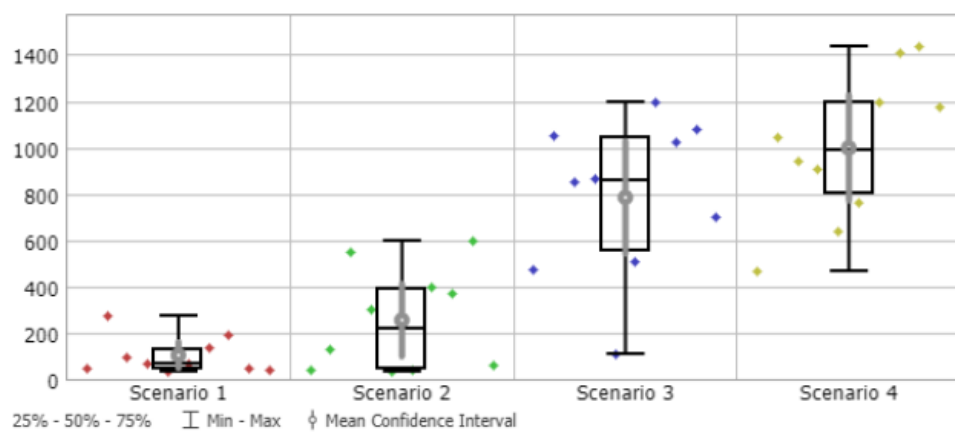


FIGURE 12 – Test des scénari qui fonctionnent

La variation des leviers d’actions que nous avons choisi impactent significativement les résultats de la simulation. Plus on diminue le nombre de donneurs ou bien la capacité de stockage de la banque de sang, plus la pénurie dans les hôpitaux augmentent et vice-versa.

## 8 Défis rencontrés et alternatives

Au cours de cette étude, nous avons fait face à plusieurs défis. Dès le début de notre travail, notre première tâche a consisté à comprendre le système et son mode de fonctionnement. Les difficultés majeures ont émergé lors de la recherche de données pertinentes, en particulier lors de la modélisation sur FlexSim. En effet, il était ardu de trouver des données reflétant de manière fidèle la réalité, notamment en ce qui concerne la capacité des centres de transfusion et des banques centrales mais nous avons fini par faire recours aux bases de données de la France. Concernant la modélisation, la complexité de notre système a ajouté une couche de difficulté à notre travail. Notre système, par sa nature, est composé de plusieurs sous-systèmes interconnectés, ce qui signifie que les interactions entre eux doivent être soigneusement prises en compte. La tâche de modéliser efficacement ces interconnexions a nécessité une compréhension approfondie de chaque composant du système et de la manière dont ils interagissent dynamiquement. Pour cela nous avons un modèle de base qui était constitué de 2 hôpitaux qui devaient elles-aussi interagir ensemble dans le cas d’une pénurie. Cependant vu la complexité de tous nos sous-systèmes, nous avons fait l’hypothèse simplificatrice de travailler avec un seul hôpital pour faire mieux le travail. Ensuite nous n’avons pas pu l’optimisation par la simulation dans la partie OptQuest du logiciel pour amélioration des performances du système par spécification de la fonction objectif et les contraintes par absence de la licence de celle-ci. Enfin, nous avons également rencontré des difficultés lors de la définition des scénarios sur flexim et cela faisait que les résultats ne s’affichaient pas correctement.

Summary				
	Mean (95% Confidence Interval)	Sample Std Dev	Min	Max
<b>Scenario 1</b>	0.00 ± N/A	0.00	0.00	0.00
<b>Scenario 1</b>	null ± N/A	N/A		
<b>Scenario 2</b>	null ± N/A	N/A		
<b>Scenario 3</b>	null ± N/A	N/A		

FIGURE 13 – Début des tests sans affichage

Mais nous avons réussi à tester quelques scénarios comme nous l’avons montré dans la partie résultats. La gestion des différents flux d’informations, de ressources et d’activités entre les sous-systèmes a été un défi majeur. Il a fallu établir des relations précises pour assurer la représentation fidèle des processus complexes dans le modèle FlexSim. De plus, la dynamique des petits systèmes individuels et la manière dont ils influent les uns sur les autres ont nécessité une attention particulière pour éviter des distorsions dans les résultats du modèle.

## 9 Conclusion

Cette étude a démontré que la simulation de la chaîne d'approvisionnement sanguin offre une approche puissante pour évaluer les performances du système, identifier les zones d'amélioration et formuler des stratégies d'optimisation. Les résultats obtenus à partir des différents scénarios effectués fournissent des informations précieuses pour les acteurs impliqués dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement sanguin, avec un accent particulier sur la nécessité de maintenir une capacité opérationnelle robuste pour assurer une disponibilité en temps opportun des produits sanguins tout en minimisant les pertes.

Ce projet nous a permis de réaliser un cas pratique de modélisation d'un système de production, de se heurter aux difficultés liées à une telle modélisation. Ce travail a surtout constitué une immersion enrichissante dans l'univers de la simulation, nous permettant de prendre en charge de manière autonome l'ensemble du projet.

## 10 Contribution des membres de l'équipe

●**Issiaka KANAZOE** : Conception et implémentation du modèle : Centre de prise de sang et de la banque de sang ainsi que la mise en marche des différentes interactions, Simulation profonde des scénario dans l'Experimenter.

●**Christian Thomas BADOLO** : Conception et implémentation du modèle, modélisation du système de l'hôpital et mise en marche de l'interaction avec les 2 autres systèmes, Construction du flowchart 1.

●**Farida OUEDRAOGO** : Collecte des données de simulation tels que les KPI, les leviers d'actions, Les capacités des ressources, Construction du flowchart 2, Rédaction et synthèse du rapport.

●**Mounira TRAORE** : Collecte des données de simulation tels que les KPI, les leviers d'actions, Les capacités des ressources, Construction du flowchart 3, Rédaction et synthèse du rapport.

●**Adil ZOMAHOUN** : Recherche de la base de donnée principale utilisée dans l'étude, Simulation des scénario dans l'Experimenter.

●**Leviy ZAGBAI** : Aide à la modélisation, recherche pertinente et description des différents scénario à utiliser, Analyse et discussions des résultats.



## Références

- [1] Saeed Abdolmaleki MOHAMMAD ARANI XIAN LIU. “SCENARIO-BASED SIMULATION APPROACH FOR AN INTEGRATED INVENTORY BLOOD SUPPLY CHAIN SYSTEM”. In : ().