

Louvain School of Management

Gestion de stock et distribution des produits sanguins

Auteur : COLATRELLA Emma

Promoteur : DE WOLF Daniel

Année académique 2023-2024

Master 60 en science de gestion

Remerciements

Je souhaiterais exprimer toute ma gratitude envers les professeurs de l'UCL qui ont partagé avec moi leur savoir et leur expérience durant cette année de master complémentaire.

Je tiens à remercier sincèrement les personnes qui ont grandement contribué à la réalisation de mon travail de fin d'étude. Qui m'ont accueillie chaleureusement et qui m'ont accordé leur temps précieux afin que je puisse récolter les informations nécessaires pour étayer et rendre plus concret ce travail.

Je voudrais également exprimer ma reconnaissance envers Monsieur De Wolf, mon promoteur, pour son aide et son investissement, ses précieux conseils, passant de nombreuses heures à lire et à commenter mon travail.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers ma famille, et plus particulièrement mes parents, ma sœur et mon amoureux, pour leur soutien sans faille et leurs relectures attentives de mon travail. Merci de m'avoir accompagnée une nouvelle fois dans ce nouveau défi et d'avoir cru en moi.

Résumé

Ce travail de fin d'étude est une revue de littérature qui traite de la gestion de stock et de la distribution des produits sanguins. Cette problématique est préoccupante car de nombreuses vies en dépendent et à ce jour il n'existe aucun substitut. Diverses contraintes et méthodes sont exposées dans ce travail telles que la périssabilité, la variabilité de la demande et des dons de sang, la problématique de la compatibilité sanguine ainsi que la substitution des produits sanguins. Concernant la distribution, les stratégies de localisation des collectes de sang et du transport des produits sanguins sont développées. Une visite au centre de la Croix Rouge de Namur a permis d'intégrer une illustration concrète de ce sujet. Dans cette rubrique, une description de la supply chain est présentée ainsi que divers paramètres mis en évidence par le système RADJO. Celui-ci est un rapport de distribution journalier automatique employé par la Croix Rouge.

Table des matières

Remerciements.....	1
Résumé.....	2
1 Introduction.....	4
2 La gestion de stock des produits sanguins.....	6
2.1 Périissabilité des produits sanguins.....	6
2.2 La variabilité de la demande de sang.....	9
2.3 La variabilité des dons de sang.....	10
2.4 Problème de compatibilité sanguine.....	12
2.5 Substitution.....	15
3 La distribution des produits sanguins.....	16
3.1 La localisation des collectes de sang.....	16
3.2 Le transport des produits sanguins.....	18
4 La Croix Rouge.....	21
5 Conclusion.....	32
6 Bibliographie.....	34
7 Annexe : déclaration d'usage d'IA.....	37

1 Introduction

Le corps humain est une véritable machine capable de protéger l'organisme, d'activer automatiquement des mécanismes biologiques et de s'adapter à notre environnement, et ce, sans interruption, tout au long de notre vie. Pour veiller au bon fonctionnement de celle-ci, un tissu liquide vital circule dans les vaisseaux sanguins.

En effet, celui-ci permet de transporter l'oxygène, les nutriments, les hormones, les vitamines et les anticorps indispensables à notre survie. Le sang se compose de 45% des cellules qui sont les globules rouges, les globules blancs et les plaquettes et de 55% de plasma qui constitue la partie liquide de ce fluide. Le sang est un produit irremplaçable : à ce jour, aucun produit de substitution n'existe (voir Service du sang - Croix-Rouge de Belgique (2024)). En cas de nécessité, seule la transfusion sanguine est possible. Cet acte médical consiste à administrer au patient le composé sanguin qui lui est déficient, par le biais d'une perfusion intraveineuse.

Malheureusement, certaines personnes possèdent des cellules sanguines défaillantes. De plus, compte tenu de l'actualité, les guerres, les catastrophes naturelles, les maladies, certaines interventions chirurgicales et l'augmentation de l'espérance de vie de la population, les besoins en sang ne cessent de croître.

Selon l'OMS (voir World Health Organization: WHO(2023)), environ 118,5 millions de dons de sang sont récoltés chaque année dans le monde, dont 40% proviennent des pays à revenus élevés représentant 16% de la population mondiale. Il y a donc plus de dons de sang dans les pays à revenus élevés que dans les pays à faibles revenus.

Les dons de sang sont donc indispensables et réalisés sur base volontaire. Cela implique qu'ils ne sont pas constants. De plus, la demande en produits sanguins n'est pas non plus constante.

Cependant, il ne suffit pas que quelques individus donnent leur sang pour aider les personnes dans le besoin : tout le monde ne peut pas donner son sang à n'importe qui. On parle alors de compatibilité des groupes sanguins. En effet, il existe quatre groupes sanguins : A, B, AB et O associés à un système rhésus, négatif ou positif qui détermine le type de groupe sanguin de l'individu. Celui-ci peut donc être A-, A+, B-, B+, AB-, AB+, O- et O+. Par exemple, les personnes du groupe O- sont donneurs universels. Cela signifie que les personnes de n'importe quel autre groupe peuvent recevoir les globules rouges O-. Pour le plasma, ce sont les individus du groupe AB qui sont donneurs universels (voir Service du sang - Croix-Rouge de Belgique (2024)).

Il est important de respecter la compatibilité des groupes sanguins, car, en cas d'incompatibilité, le système immunitaire de l'individu receveur va reconnaître la présence d'une substance étrangère et la considérer comme antigène ce qui peut aggraver l'état du patient.

Après prélèvement, le sang n'est pas immédiatement transfusé chez le patient. Il va parfois falloir attendre plusieurs semaines avant son utilisation, voir l'envoyer à l'autre bout du monde pour venir en aide à des personnes dans le besoin. Cependant, le sang est un produit périssable et dégradable, nécessitant certaines conditions de conservation (les globules rouges : 42 jours à 4°C, les plaquettes 5 jours à 22°C sous agitation et le plasma : 1 an à -25°C (voir Schoen et al. 2017) adaptées pour garantir son intégrité le plus longtemps possible.

Là repose tout l'enjeu de la gestion des stocks et de la distribution. En effet, ces processus sont relativement complexes et importants dans ce domaine compte tenu des millions de vies en jeu.

C'est pourquoi, ce travail est une revue de littérature qui portera sur la gestion de stock du sang et la distribution de celui-ci. La première partie de ce travail traite des contraintes de gestion de stocks, tandis que la deuxième partie abordera la distribution en mettant l'accent sur la localisation des collectes de sang et le transport des produits sanguins.

Enfin, pour étayer ce travail, un cas concret de la gestion de stock et de distribution de la Croix Rouge suivi d'une conclusion reprenant les points essentiels de ce travail.

C'est pourquoi je vais considérer dans ce mémoire la problématique suivante « La gestion de stock et la distribution des produits sanguins ». Ce travail permettra de répondre aux questions de recherche suivantes :

- Quelle méthode permet d'optimiser les stocks des produits sanguins ?
- Quelle méthode permet d'optimiser la distribution des produits sanguins ?
- Qu'en est-il de la pratique actuelle à la Croix Rouge ?

2 La gestion de stock des produits sanguins

La gestion des stocks des produits sanguins est enjeu majeur : chaque jour des milliers de vies en dépendent. Ce domaine est très complexe, car divers facteurs entrent en considération, tels que la périssabilité, l'impact de la variabilité de la demande, la compatibilité sanguine et la substitution des produits sanguins. Ces différents éléments seront abordés dans ce travail.

2.1 Périssabilité des produits sanguins

La périssabilité des composés sanguins est un élément indispensable à prendre en compte pour une gestion de stock efficace.

Les principaux facteurs contribuant au gaspillage des produits sanguins incluent : les poches défectueuses, la rupture de la chaîne du froid, la coagulation du sang, le dépassement de la durée de vie du produit sanguin (voir Kurup et al. 2016).

Une fois le sang prélevé, ce sang total peut être stocké entre 8 et 24 heures selon les réglementations des pays. Il est ensuite impératif de procéder rapidement à la séparation des différents composés sanguins labiles : le plasma, les globules blancs, les plaquettes et les globules rouges. Cependant, les globules blancs ne sont pas conservés étant donné qu'ils peuvent engendrer des risques transfusionnels. La séparation de ces différents composés permet de les conserver de la façon la plus appropriée afin d'étendre la durée de conservation des produits sanguins, de gérer le plus efficacement les stocks et de répondre de façon la plus appropriée aux besoins du patient (voir Labrecque, 2024).

En effet, ces composés sont précieux et ont une durée de conservation limitée et variable suivant le produit sanguin labile comme illustré dans le tableau 1.



Figure 1: La composition du sang (voir La Croix Rouge, et De Bouyalsky, 2024).

Products	Lifetime	Temperature
Whole blood	Less than 48h	20°C or 4°C
Blood samples	Less than 48h	4°C
Platelets	5 days	22°C shaken
Red blood cells	42 days	4°C
Plasma	1 year	-25°C

Tableau 1 : Les conditions de stockages des produits sanguins labiles (voir Schoen, et al. 2017).

Une fois les produits sanguins séparés, ceux-ci sont placés en quarantaine en attendant leurs analyses. Les produits répondant aux normes sont ensuite conservés afin d'être distribués aux hôpitaux (voir Transformation du don de sang. Hema-Quebec (2024)).

Lors du cours de gestion de production de Monsieur De Wolf, et comme indiqué dans plusieurs livres de gestion et articles (voir Ambroise, et al. 2010), lorsque des produits sont périssables, la façon la plus optimale de gérer les stocks afin d'éviter le plus de gaspillage possible est la politique de gestion FIFO (First In First Out).

La politique FIFO vise à utiliser en premier les produits les plus anciens afin de minimiser le gaspillage. Cette méthode de gestion est bel et bien utilisée pour la gestion de stock des produits sanguins, ce qui contribue à réduire les pertes (voir Abbasi et Hosseinifard, 2014).

Cependant, la politique LIFO (Last In First Out) qui vise à utiliser les produits les plus récents d'abord est également employée dans certains cas médicaux (voir Lowalekar, et Ravichandran, 2015). En effet, des études suggèrent que la transfusion de produit globulaire frais permettrait d'améliorer l'état de santé du patient (voir Abbasi et Hosseinifard, 2014).

Chacune de ces méthodes de gestion a ses avantages et des inconvénients. En effet, la méthode FIFO minimise les ruptures de stock et les pénuries, mais maximise l'âge moyen de sortie. La méthode LIFO quant à elle minimise l'âge moyen de sortie, mais peut augmenter les ruptures et les pénuries (voir Abbasi et Hosseinifard, 2014).

C'est pourquoi une combinaison de ces deux méthodes est envisagée dans de nombreux articles scientifiques (voir Fontaine et al. 2009, Abbasi et Hosseinifard, 2014).

La méthode « FIFO modifiée » fait également l'objet de discussions dans divers articles, elle consiste à diviser le stock en deux parties, le stock le plus récent et le stock le plus ancien. Ensuite, la méthode FIFO est appliquée en priorité au stock le plus récent et une fois ce dernier épuisé au stock le plus ancien (voir Abbasi et Hosseinifard, 2014).

Voici une représentation synthétique de la méthode FIFO modifiée

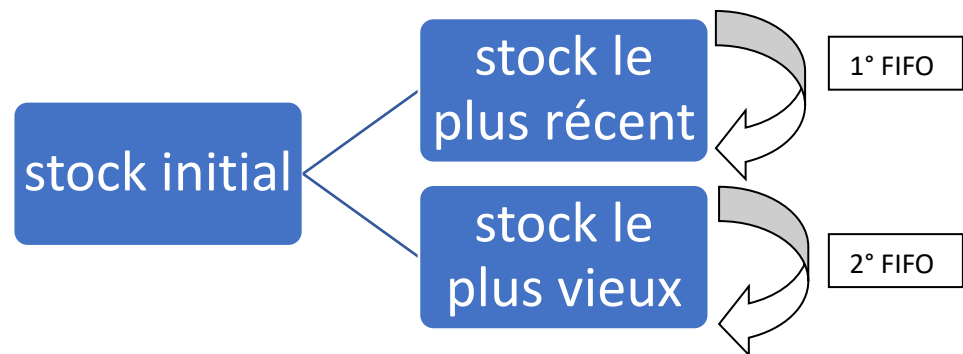


Figure 2: Schéma de la politique FIFO modifiée (Abbasi et Hosseinifard, 2014).

Cette approche présenterait plusieurs avantages, notamment la réduction de l'âge moyen de sortie des produits sanguins, la diminution du délai moyen de péremption ainsi que la réduction des délais moyens de pénurie successive par rapport à la méthode FIFO (Abbasi et Hosseinifard, 2014).

La durée de vie limitée des produits sanguins constitue un défi majeur pour la gestion de stock (voir Schoen et al. 2017).

Les plaquettes, qui constituent le composé sanguin utilisé pour divers traitements médicaux, possèdent une durée de vie courte. En moyenne, 20% des produits plaquettaires sont jetés dû à la péremption du produit (voir Shokouhifar et al. 2021).

Pour réduire le gaspillage, une possibilité serait d'essayer d'étendre la durée de conservation de ces produits.

2.2 La variabilité de la demande de sang

La transfusion est l'une des thérapies les plus utilisées dans le monde. C'est pourquoi, la gestion de l'offre et de la demande est une préoccupation de nombreux pays (voir Seifried et al. 2010).

Une partie de la demande en sang est connue pour les opérations programmées, les personnes nécessitant un traitement régulier. Cependant, une partie de la demande est inconnue, mais il est essentiel de pouvoir répondre efficacement à celle-ci.

C'est pourquoi, des prévisions sont établies afin de pouvoir répondre au mieux à n'importe quelle demande.

Pour cela, divers modèles statistiques sont étudiés afin de réduire l'incertitude des demandes en sang. Dans la littérature, des modèles statistiques sont proposés tel qu'un modèle paramétrique basé sur le Box-Jenkins (BJ) qui a été automatisé afin d'aider les gestionnaires.

Ce modèle permet d'évaluer statistiquement un ensemble de séries temporelles sur base de l'historique hebdomadaire ou semestriel des prix des composants sanguins distribués aux hôpitaux. Ces modèles permettent d'améliorer la distribution, mais surtout de trouver un équilibre du stock des différents composés sanguins. Certaines fonctionnalités permettent de mesurer les erreurs d'estimation et de comparer divers scénarios.

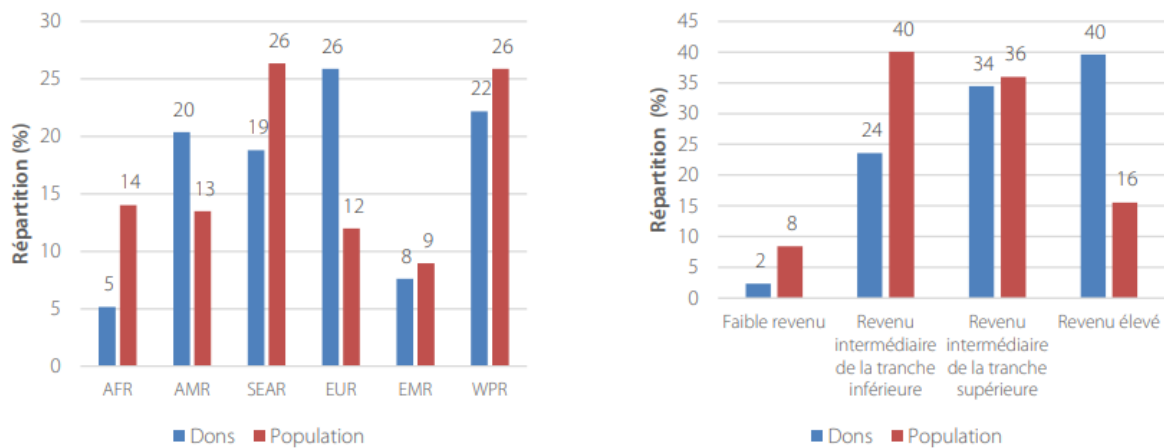
Les modèles de prévision permettent de réduire les gaspillages ainsi que les coûts liés au stock (voir Fortsch et Khapalova, 2016).

A la Croix Rouge, les prévisions sont établies sur base des 15 mois précédents de commandes (voir point 4 de ce travail).

Lors d'un bref entretien avec un gestionnaire de la banque de sang d'un Hôpital de la région du Centre, celui-ci m'a fait part du fait qu'un seul et même patient peut générer une forte augmentation de la demande annuelle de sang. Cela peut être dû à une maladie qui nécessite des transfusions régulières.

2.3 La variabilité des dons de sang

Selon le rapport de la situation mondiale sur la sécurité transfusionnelle et l'approvisionnement publié en 2021 par l'OMS (voir Organisation mondiale de la santé (2023)), basé sur des données récoltées en 2018, 118,5 millions de dons de sang ont été effectués dans 171 pays.



AFR : Région africaine ; AMR : Région des Amériques ; SEAR : Région de l'Asie du Sud-Est ; EUR : Région européenne ; EMR : Région de la Méditerranée orientale ; WPR : Région du Pacifique occidental.

Figure 3 : Répartition (pourcentage) de la population et des dons de sang par Région de l'OMS et groupe de revenu de la Banque mondiale, 2018 (voir Rouger, 2006).

Les graphiques illustrés en figure 3 montrent la variabilité des dons selon les régions du monde et les niveaux de revenus. Par exemple, les dons signalés par l'Europe représentent 26% du total mondial des dons, alors que la population européenne ne représente que 12% de la population mondiale.

Au sein de l'Europe, des disparités dans les dons sont également observées. Ces différences peuvent être attribuées à divers facteurs. Ainsi, d'un pays à l'autre les méthodes de sensibilisation et de recrutement, l'âge des personnes pouvant donner leur sang, ainsi que les politiques de rémunération existant dans certains pays sont à l'origine de ces disparités (voir Rouger, 2006).

Les dons sont divergents d'une région du monde à l'autre, mais qu'en est-il de l'évolution des dons au sein d'un même pays ?

Comme mentionné précédemment, la demande en sang ne cesse d'augmenter alors que, l'approvisionnement, c'est-à-dire les dons, diminue ou stagne comme le montre les graphiques ci-dessous basés sur les données de l'Agence Fédérale des Médicaments et des Produits de Santé (AFMPS).

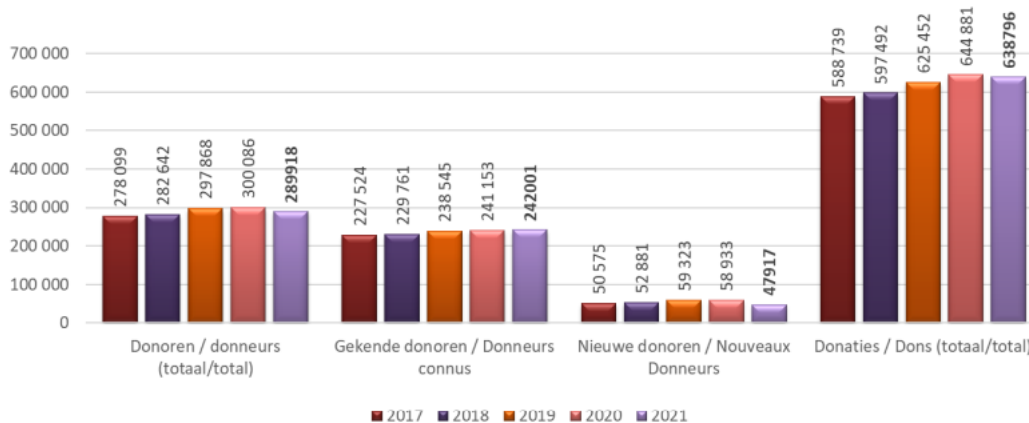


Figure 4 : Graphique du nombre de donateurs en fonction du type de donneur (voir Direction générale Soins de santé (2022)).

En 2021, la Belgique a enregistré 638 796 dons provenant de 289 918 donateurs. Le nombre de dons a diminué depuis 2020. Bien que le nombre de donateurs connus ait augmenté depuis 2018. Cette tendance est à la baisse et est particulièrement prononcée chez les nouveaux donateurs (voir Direction générale Soins de santé (2022)).

Le nombre de refus de donateurs par la Croix Rouge a augmenté, les raisons des refus incluent par exemple les voyages à l'étranger qui pourraient être à l'origine d'une infection d'un virus et dont l'ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control) aurait été informée, une opération récente, les tatouages récents, le risque d'infection transfusionnelle (voir Direction générale Soins de santé (2022)).

De plus, tous les dons prélevés doivent être testés, cela signifie que 100% des dons ne peuvent pas être utilisés.

Tout cela engendre donc des difficultés à répondre correctement à la demande.

Il est difficile de faire face à cette variabilité d'approvisionnement en don qui évolue de manière contradictoire à la demande. C'est pourquoi, des études marketing ont été réalisées pour comprendre comment attirer et garder les donateurs (voir Boch et Giannelloni, 2019, Ambroise et al. 2010).

2.4 Problème de compatibilité sanguine

Selon le besoin du receveur, un produit sanguin lui est administré, mais il doit être du groupe sanguin compatible. En effet, celui-ci doit recevoir le produit du groupe sanguin dont il fait partie. Cependant, lorsque ce groupe n'est pas disponible, un composé d'un autre groupe sanguin compatible est administré (voir Lowalekar et Ravichandran, 2015).

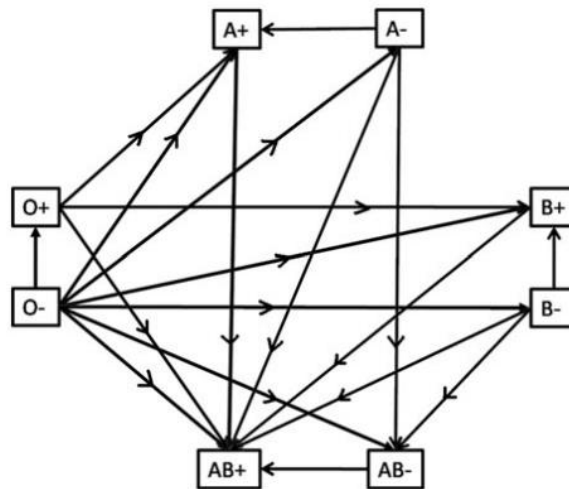


Figure 5 : La substituableté entre les groupes sanguins (voir Lowalekar et Ravichandran, 2015).

Comme illustré par la figure 5, diverses compatibilités existent entre les groupes sanguins.

Ceci est expliqué par notre système ABO et Rhésus (+ ou -). Ce système fonctionne comme un jeu de clés et de serrures. À la surface des globules rouges, des protéines appelées antigènes sont contrôlées par le système immunitaire. Si ce dernier ne reconnaît pas un antigène, il répond en produisant et en envoyant des anticorps pour le trouver et l'éliminer, cela engendre des soucis transfusionnels pouvant mener à la mort (voir Coordination Régionale d'Hémovigilance (2024a)).

La première question qui se pose lors d'une transfusion est l'urgence de la situation. En effet, les établissements de santé et les sites transfusionnels évoquent trois niveaux d'urgence nécessitant une transfusion : l'urgence vitale immédiate, l'urgence vitale et l'urgence dite relative.

Pour une urgence vitale immédiate, du sang O- est administré au patient, et ce, sans délai. Ceci est expliqué par le fait que le groupe sanguin O est compatible avec tous les autres groupes sanguins.

Pour les urgences vitales, une analyse de compatibilité est réalisée et le sang correspondant est transfusé sous un délai inférieur à 30 minutes.

Pour ce qui est des urgences relatives, là encore, une compatibilité sanguine est nécessaire et le produit sanguin est délivré sous 2 à 3 heures (voir Coordination régionale d'hémovigilance (2024b)).

Avant la transfusion, des tests de compatibilité sont réalisés entre le patient qui devra être transfusé et le composé sanguin qui pourrait lui être administré. Administrer un produit sanguin non compatible peut engendrer des réactions transfusionnelles graves, pouvant mener à la mort du patient.

La politique de compatibilité croisée appelée « Crossmatching » est la compatibilité d'une unité de sang à transfuser avec le sang d'un patient.

La réservation du nombre d'unités de compatible est plus élevée que le nombre d'unités réellement transfusées aux patients. Ceci s'explique par le fait que les médecins commandent des unités supplémentaires pour leur patient par mesure de sécurité. Cependant, cela engendre des gaspillages lorsque toutes les unités commandées ne sont pas transfusées et qu'elles sont réservées pour une longue durée. Cela entraîne également la non-disponibilité d'unités croisées réservées à un patient spécifique ainsi que des coûts et une charge plus importante pour les services de transfusion (voir Hall et al. 2013).

Le développement des technologies a permis de mettre en place un système d'identification et la délivrance automatique électronique du sang.

Cette technologie est un système informatique qui traite la gestion du Crossmatching qui est basée sur l'identification des groupes sanguins et le dépistage des anticorps. Cette technologie est utilisée dans certains pays développés et joue un rôle important pour la sécurité transfusionnelle. Cette technique qui permet de sélectionner le produit compatible présente de nombreux avantages comparés à une sérologie traditionnelle qui est réalisée en mélangeant le sang du receveur et du donneur et voir s'il y a agglomération. Cette méthode est plus rapide qu'une sérologie traditionnelle, est moins coûteuse et est simple d'utilisation (voir Wang et al. 2019).

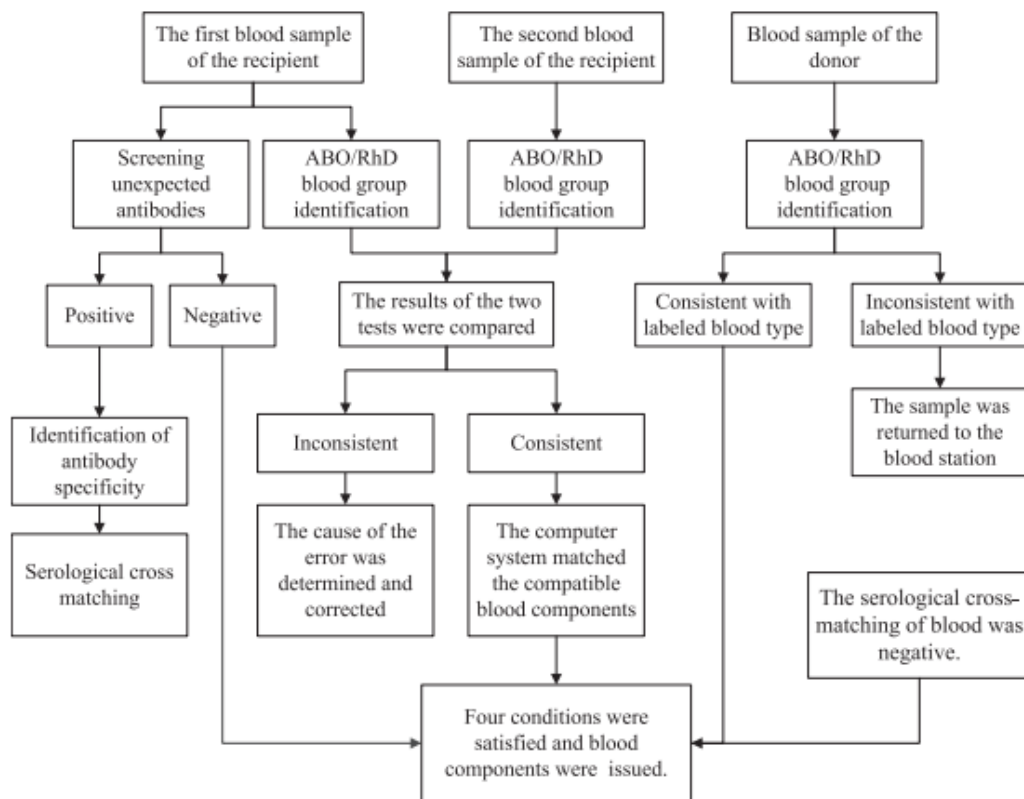


Figure 6 : Organigramme pour la réalisation de la compatibilité croisée (voir Wang et al. 2019).

Comme illustré par le diagramme de la figure 6, afin de pouvoir obtenir une compatibilité sanguine, divers éléments doivent être satisfaits :

- Les patients doivent avoir deux résultats concordants des groupes sanguins ABO et rhésus. Si les résultats ne sont pas concordants, aucune compatibilité électronique ne peut être réalisée.
- Il ne doit pas y avoir de présence d'anticorps.
- Le système informatique doit permettre d'empêcher la libération d'éléments incompatibles.

Les tests de sérologie traditionnels sont effectués afin de vérifier la compatibilité croisée électronique (voir Wang et al. 2019).

2.5 Substitution

Une solution révolutionnaire est aujourd'hui encore à l'étude : la substitution du sang. En effet, les chercheurs se penchent sur le développement du sang artificiel afin de remplacer le sang naturel en cas de forte demande.

L'une de ces recherches consiste à créer des substituts sanguins à partir de sang O-, ce qui permettrait de le transfuser à toutes les personnes sans risque de réaction de la part du système immunitaire. Plusieurs laboratoires étudient la question en travaillant à partir d'hémoglobine porcine ou bovine, sans succès. La société Hemarina a continué ces recherches en se basant cette fois-ci sur l'arénicole, un ver marin atlantique. Cependant, les résultats de ces recherches aboutissent plus à un complément thérapeutique aidant à l'oxygénation des organes, plutôt qu'à un véritable sang de substitution.

Ce sont des scientifiques japonais du collège médical de Tokorozawa qui ont réussi à synthétiser un sang artificiel et universel. Celui-ci est produit sans anticorps ni antigène, permettant ainsi de soustraire de l'équation la contrainte de la compatibilité sanguine. De plus, ce sang peut être conservé plus d'un an, contrairement à quelques jours pour le sang naturel. Les chercheurs ont également développé une méthode qui permet de stocker les plaquettes et les globules rouges dans des liposomes qui sont des vésicules formées par des bicouches de lipides (voir Piot, 2024).

Si un tel produit voit le jour, cela réduira un grand nombre de problèmes liés à la demande de sang. Certains sangs artificiels comme Hemopure, qui est produit à base de sang bovin, possèdent les avantages de ne pas devoir être réfrigéré, car pouvant être conservé à température ambiante, ainsi qu'une durée de conservation prolongée (voir Korte et al. 2018). Ceci permettrait d'optimiser les conditions de stockage de ces types de sang. Des substances chimiques de substitution comme les néo hémocytes, des globules rouges artificiels qui permettent d'emprisonner l'hémoglobine possèdent un temps de conservation plus élevé que le sang naturel. Ainsi, les hôpitaux du monde entier pourraient avoir accès à ce sang artificiel, sans crainte de réaction des patients (voir Abderrazak et Tremblin, 2015).

Néanmoins, il faut souligner que ces perspectives sont encore à l'étude ou en essai clinique et ne pourront aboutir que dans un laps de temps encore indéterminé (voir Abderrazak et Tremblin, 2015). Et bien que ces recherches soient une grande avancée dans la médecine, il faut être conscient que cela ne permettra pas de remplacer totalement la transfusion de sang naturel. De plus, avec la mise au point d'un tel produit, les questions éthiques et économiques seront inévitables (voir Piot, 2024).

3 La distribution des produits sanguins

La distribution des produits sanguins est un processus important dans le domaine médical. Cette distribution est essentielle afin de pouvoir répondre aux besoins des patients nécessitant une transfusion sanguine : chaque jour des milliers de vies en dépendent. Ce domaine est très complexe, car divers facteurs entrent en considération, comme la localisation des collectes de sang et le transport des produits sanguins qui sont développés dans ce travail.

3.1 La localisation des collectes de sang

Les collectes de sang sont planifiées par une banque de sang qui s'occupe également des analyses, du traitement et du stockage de sang en vue d'une utilisation ultérieure. La banque de sang se charge de planifier la collecte de sang et de répondre à la demande en sang.

Cet établissement a donc deux objectifs primordiaux :

- Garantir une disponibilité suffisante en sang pour pouvoir répondre aux divers besoins.
- Veiller à ce que le gaspillage des produits sanguins soit minimum.

La localisation des collectes de sang a donc toute son importance pour pouvoir répondre à ces deux objectifs (voir Lowalekar et Ravichandran, 2015).

Le prélèvement de sang des donneurs est effectué dans un centre de collecte fixe ou mobile. Les prélèvements obtenus sont ensuite analysés, stockés et triés avant d'être envoyés dans un établissement demandeur, en vue d'une transfusion.

Les collectes fixes représentent 15% des collectes de sang et ont un coût d'installation plus important qu'un centre de collecte mobile qui représente 85% des collectes de sang.

Les collectes de sang mobiles présentent un faible coût lors d'un déplacement. Les changements d'emplacement facilitent le don étant donné que la distance parcourue par le donneur est réduite. Choisir un bon emplacement permet de maximiser le nombre de donneurs potentiels (voir Ghernaout et al. 2021).

Comment choisir l'emplacement des collectes de sang ?

Les collectes de sang doivent se situer à proximité des citoyens afin de leur faciliter l'accès.

L'EFS (Établissement Français du Sang) doit s'adapter aux évolutions sociodémographiques de la population. Dans le domaine de l'organisation des collectes, il est nécessaire d'analyser des données statistiques en ayant recours à une représentation géographique. Cette cartographie permet par exemple de cibler les fortes densités de population et de suivre le déplacement de celle-ci, les répartitions de classe d'âge qui diffèrent d'une région à une autre, de géolocaliser les donneurs suivant l'indice de générosité qui se base sur les dons précédents et le nombre d'habitants en âge de donner leur sang, géolocaliser les donneurs de sang rare.

L'EFS de Bretagne en collaboration avec l'université de Rennes 2 a mis en œuvre un outil permettant de mettre en relation les indicateurs de cartographie statistiques et de nouveaux indicateurs via un logiciel SIG (Système d'Information Géographique) qui est un système permettant aux utilisateurs d'interagir pour y intégrer des analyses, les données géographiques et autre, ceci s'appelle la géomatique. Il est ainsi possible de combiner des informations directes liées à la collecte de sang et des données externes comme de l'IGN (l'institut géographique nationale). C'est un outil intéressant qui permet grâce aux données actualisées d'avoir un suivi étroit des données ainsi qu'une adaptabilité rapide de la programmation des collectes (voir Halbout et al. 2015).

3.2 Le transport des produits sanguins

Comme explicité précédemment dans ce travail, gérer la chaîne d'approvisionnement efficacement s'avère compliqué. Cela est notamment dû à certains facteurs tels que : les caractéristiques spécifiques au sang, la périssabilité, la variabilité des dons et de la demande.

La demande en sang provient des hôpitaux ce qui augmente la complexité de la gestion de la chaîne d'approvisionnement.

Le transbordement latéral au sein d'un réseau d'hôpitaux permettrait l'amélioration des performances. Celui-ci consiste à véhiculer le stock entre les différents établissements et permet ainsi d'équilibrer les stocks du réseau. Ceci permet de réduire l'écart entre la demande actuelle et future et le stock disponible dans les hôpitaux (voir Dehghani et al. 2021).

Une étude réalisée au Royaume-Uni a montré que le transbordement améliore la gestion de l'approvisionnement en sang et permet de réduire le nombre d'unités périmées. Cette méthode permet de gérer les pénuries de manière efficace en utilisant les stocks des hôpitaux voisins et permettrait également de transfuser aux patients des unités de sang plus fraîches.

Le transbordement permet de réduire les coûts de pénurie et de la péremption du stockage d'unités de sang (voir Dehghani et al. 2021).

En considérant que les hôpitaux décident de la quantité optimale à commander et à transborder chaque jour, un planificateur centralisé gère la demande incertaine d'un réseau d'hôpitaux avec une distribution de probabilité générale. Le planificateur peut décider de réapprovisionner les stocks au début de chaque période et avant qu'une demande ne soit effectuée, il peut également décider de réapprovisionner les stocks en passant commande à la banque de sang ou par transbordement.

La politique actuellement en vigueur dans certains hôpitaux consiste à appliquer un inventaire quotidien, si les stocks sont inférieurs aux stocks souhaités, c'est-à-dire quatre fois la demande quotidienne, une commande est réalisée afin de compléter le stock. Le transbordement est effectué entre les petits et grands hôpitaux d'un même réseau. Ce sont les petits hôpitaux qui transbordent le stock dont la conservation résiduelle est inférieure à un seuil défini vers les grands hôpitaux. Ce type de transbordement est représenté à gauche sur la figure 7 ci-dessous (voir Dehghani et al. 2021).

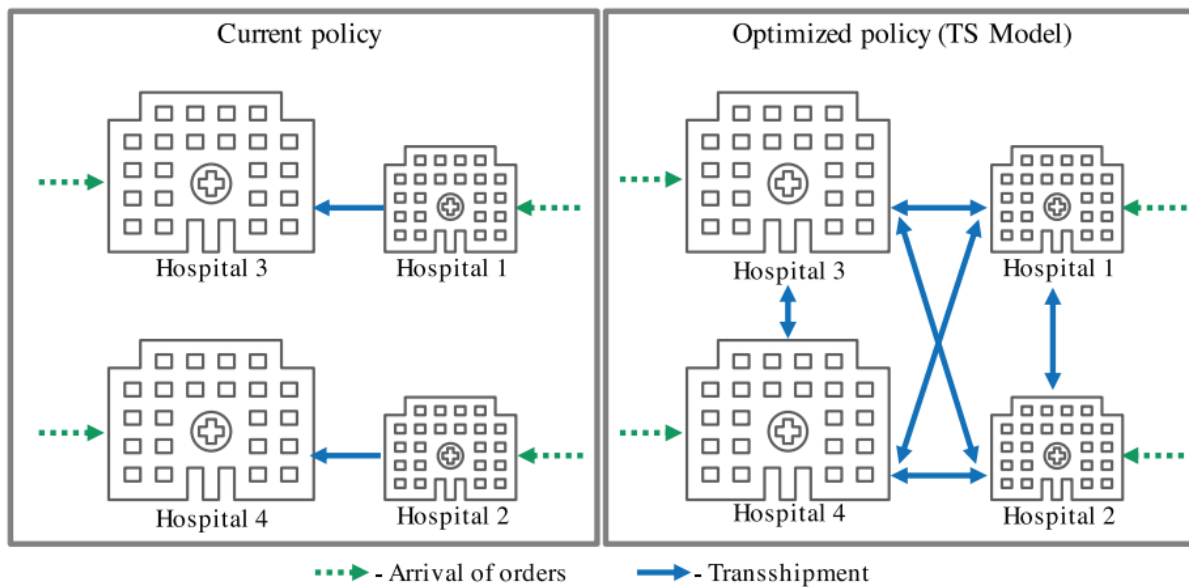


Figure 7: Représentation schématique des réseaux hospitaliers ; les flèches en trait plein représentent les directions possibles de transbordement (voir Dehghani et al. 2021).

Pour la figure 7, il est supposé que les hôpitaux 1 et 2 sont des hôpitaux de petite taille et peuvent transborder leurs unités vers les grands hôpitaux 3 et 4.

La partie droite de la figure 7 envisage la politique optimisée (TS model) d'un modèle de transbordement qui permettrait de transporter des unités vers n'importe quel hôpital en fonction de ses besoins.

Le TS-FIFO Enforcement est le modèle TS qui suit la politique FIFO et le No Transshipment, qui consiste à ne pas utiliser le transbordement, ont été également envisagés.

Ces quatre méthodes ont été comparées. Il en ressort que la politique actuelle ainsi que la méthode optimale de transbordement sont efficaces afin d'éviter les pénuries et les gaspillages. Le transbordement de la politique actuelle a un impact positif sur le gaspillage d'unité de sang des petits hôpitaux comparé au No Transshipment. L'application de la politique FIFO engendrerait une légère diminution du nombre de transbordements, mais engendrerait des coûts d'obsolescence plus élevés.

La moyenne de la quantité commandée et transbordée dans le cadre de la politique actuelle est plus élevée que pour le modèle TS, plus particulièrement pour les petits hôpitaux. Il en ressort également que ce modèle TS est, de manière générale, plus efficace que les autres méthodes concernant les commandes et le transbordement des unités de sang. Ceci est dû au fait que la quantité de commandes et le transbordement peuvent être coordonnés afin de réduire le niveau de stock, le délai de livraison et les coûts totaux (voir Dehghani et al. 2021).

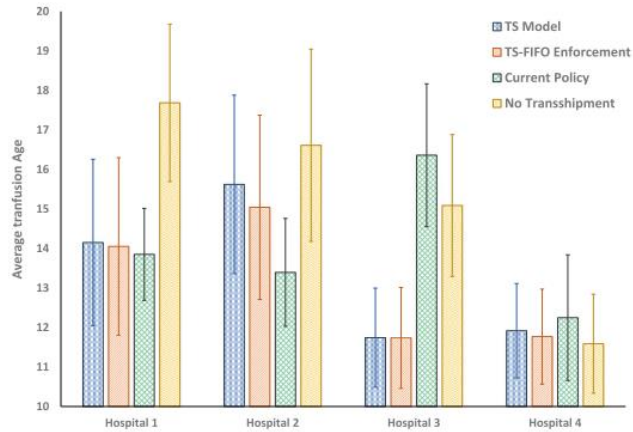


Figure 8 : Âge moyen à la transfusion suivant les diverses politiques de transbordement (voir Dehghani et al. 2021).

La figure 8 montre l'écart type et l'âge moyen des unités de sang par rapport aux diverses politiques de transbordement. C'est pour la politique « pas de transbordement » que la moyenne d'âge des unités de sang transfusés est la plus élevée pour les hôpitaux 1 et 2. Les modèles d'application TS et TS-FIFO Enforcement améliorent l'âge moyen des grands hôpitaux (3 et 4) par rapport à la politique actuelle. C'est pour la politique actuelle que l'âge moyen des petits hôpitaux (1 et 2) est le plus faible. Ceci s'explique par le fait que la politique actuelle transborde les unités les plus anciennes vers les grands hôpitaux. Les modèles TS et TS-FIFO Enforcement agissent de manière similaire quant à la moyenne d'âge d'unités de produits sanguins (voir Dehghani et al. 2021).

4 La Croix Rouge

Le service du sang de la Croix Rouge a pour mission de :

- répondre aux besoins : fournir aux hôpitaux les dérivés sanguins dont ils ont besoin,
- contrôler : vérifier la qualité des produits sanguins,
- accompagner : veiller au bon accueil des donateurs.

Lors d'un prélèvement, la Croix Rouge doit veiller à la santé du donneur, et ne pas nuire à celle-ci. Par exemple, une personne de moins de 50kg ne peut pas donner son sang, car la quantité prélevée serait trop importante par rapport à sa corpulence. Le donneur doit être sain, afin que le sang prélevé puisse être transfusé, ainsi, une personne ayant eu une grippe ne peut pas donner son sang avant un certain temps. Et enfin, ne pas nuire au receveur, c'est-à-dire fournir le sang adapté à celui-ci. Si lors des tests, une anomalie grave est constatée, le donneur reçoit une lettre afin que celui-ci consulte son médecin au plus vite.

Lors de ma visite à la Croix Rouge, j'ai eu la chance de pouvoir découvrir la supply chain, et d'obtenir des informations concernant la gestion de stock ainsi que de l'approvisionnement des produits sanguins de la Croix Rouge de Namur.

Voici une présentation détaillée de la supply chain opérée par la Croix Rouge :

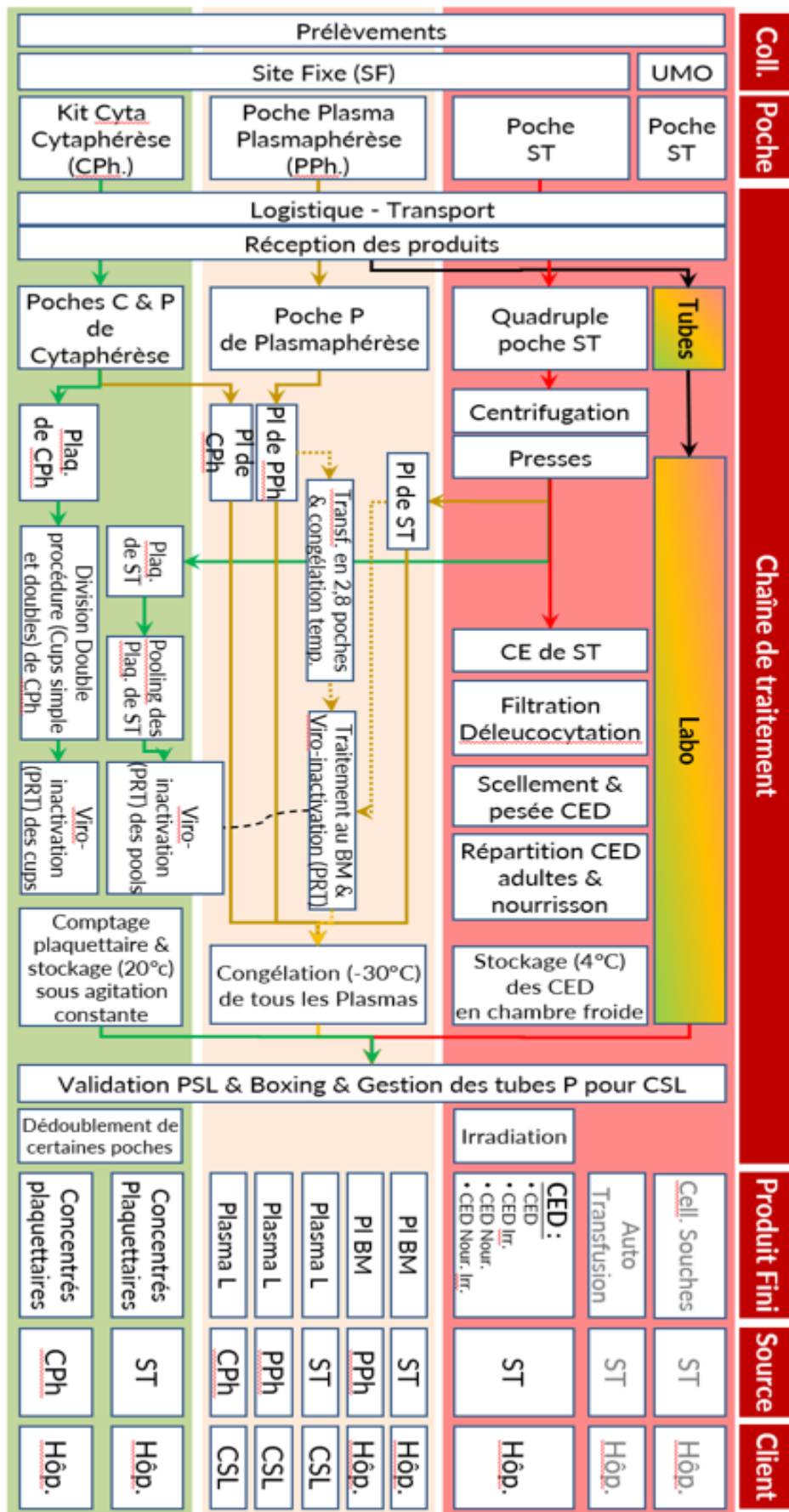


Figure 9 : Supply chain de la Croix Rouge (provient d'un document interne de la Croix Rouge).

1) Collecte

Les prélèvements de produits sanguins sont effectués lors des collectes, soit sur site fixe, soit par des unités mobiles. Un échantillon de sang est également prélevé pour réaliser différents tests.

2) Poche

Différentes poches peuvent être recueillies en fonction du don.

Trois poches peuvent être obtenues suivant le don :

a) Poche de sang total

b) Poche de plasma, obtenue par plasmaphérèse. La plasmaphérèse permet de séparer le plasma du sang par filtration. Les autres éléments du sang sont renvoyés directement au donneur.

c) Kit de cytophérèse, obtenu par cytophérèse.

La cytophérèse permet de récolter l'équivalent de 5 à 10 fois la quantité de plaquettes que l'on aurait obtenue lors d'un don de sang. Lors de cette séparation, du plasma est également prélevé, les autres composés sont directement renvoyés au donneur.

3) Chaîne de traitement

Une fois les prélèvements effectués, ils sont transportés jusqu'à la chaîne de traitement située à Namur. Les produits sont réceptionnés dans des boîtes maintenues à température de 20°C. Le tri est effectué par heure de prélèvement, les poches sont ensuite pesées. Les échantillons de sang sont quant à eux envoyés au laboratoire afin d'effectuer divers tests.

Les poches de sang total passent à la centrifugeuse pour séparer les différents composés, cette étape dure environ 20 minutes.

Les poches centrifugées doivent être manipulées avec précaution pour éviter de remélanger les constituants séparés.

Ensuite, la poche est placée dans une presse durant 5 minutes afin de séparer le plasma (100%), la couche leuco-plaquettaire (95% de plaquettes et 5% de lymphocytes B) et la couche globulaire dans des poches séparées (50% de globules rouges et 50% de lymphocytes B).

Les poches de globules rouges sont filtrées, cela permet d'éliminer 99,99% des lymphocytes B. Ensuite, des sections sont réalisées dans la tubulure des poches pour permettre de réaliser des tests de compatibilité dans les banques de sang.

Les poches sont ensuite pesées et triées par groupe sanguin. Dans 85% des cas, le groupe sanguin est connu, car ce sont des donneurs réguliers.

Pour le plasma, il y a deux filières d'utilisation.

- 90% du plasma sont destinés à l'industrie pharmaceutique.
- 10% et du sang total sont destinés aux hôpitaux.

Cependant pour que le plasma puisse être transfusé, il nécessite un traitement au bleu de méthylène suivi d'une viro-inactivation (PRT= Patogen Reduce Technologie), le bleu de méthylène est ensuite éliminé par filtration.

Les couches leucoplaquettaires obtenues à partir de sang total sont utilisées pour faire des pooling de plaquette. Cela consiste à regrouper environ 6 poches de même groupe dans une seule poche. Les lymphocytes et les plaquettes sont ensuite séparés par centrifugation. Une fois les plaquettes récupérées, elles nécessitent un traitement de viro-inactivation (PRT).

Une fois que chaque produit sanguin a subi tous les traitements pour pouvoir potentiellement être administré, ceux-ci sont stockés dans le stock WIP (Work In Progress).

Les conditions de stockage sont identiques à celles exposées au point 2.1 : les plaquettes à 4°C en chambre froide, le plasma à -30°C et le comptage plaquettaire à 20°C sous agitation constante.

Le stock WIP est le stock « en-cours ». Les produits sont en attente de résultats des tests du laboratoire afin de savoir si ceux-ci sont conformes aux exigences.

Les produits sanguins conformes aux tests sont transférés dans le stock principal et peuvent être distribués selon la demande.

4) Produit fini

- CED (concentre érythrocytaires déleucocytés) il en existe plusieurs types : CED, CED irradié, CED pour nourrisson et CED pour nourrisson irradié
- Plasma, il en existe deux types :
Plasma BM qui a subi un traitement au bleu de méthylène et le plasma non traité
- Le concentré plaquettaire :
Il existe le pool plaquettaire et les cûts de plaquettes

5) Source

Les poches de globule rouge sont obtenues uniquement à partir du sang total.

Le plasma quant à lui peut être obtenu à partir du sang total, ou directement lors du prélèvement de plasma chez le patient (plasmaphérèse), ou lors du prélèvement de plaquettes (cytaphérèse).

Les plaquettes peuvent être obtenues à partir du sang total ou du prélèvement de plaquettes (cytaphérèse).

6) Client

La Croix Rouge a deux groupes de clients : l'industrie pharmaceutique et les hôpitaux.

Les plaquettes et les globules rouges sont uniquement destinés aux hôpitaux tandis que 90% du plasma est destiné à l'industrie pharmaceutique et les 10% du plasma traité au bleu de méthylène sont destinés aux hôpitaux.

La gestion de stock des produits sanguins est bien plus complexe que ce qui est généralement décrit.

Dans un monde idéal, la demande serait parfaitement égale au don, mais bien évidemment ce n'est pas le cas en réalité.

Le RADJO est un rapport de distribution journalier automatique, envoyé tous les matins à la direction. Celui-ci est réalisé pour tous les composés sanguins, mais nous allons nous concentrer uniquement sur les globules rouges.

La figure 10 présente un extrait de ce rapport pour les globules rouges :

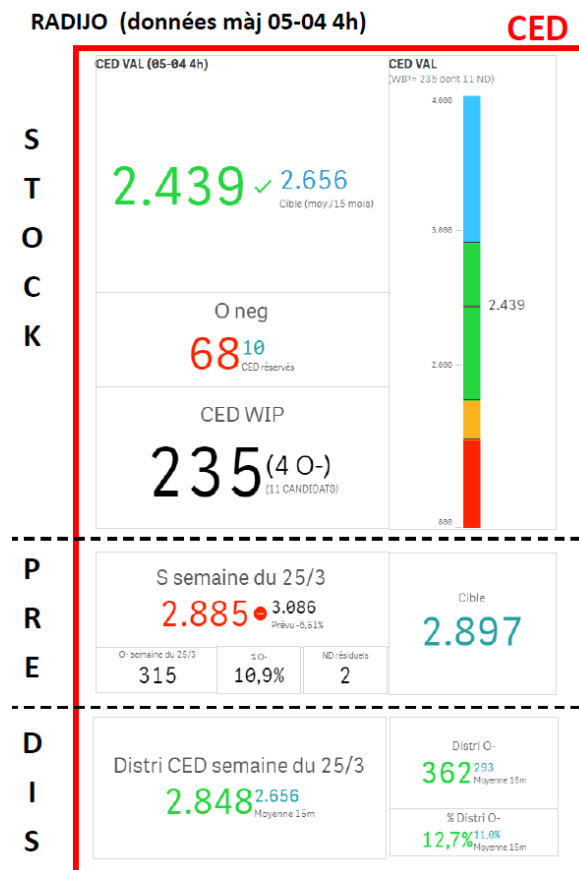


Figure 10 : Extrait du rapport RADIJO du 05/04/24.

Dans ce rapport figurent des informations essentielles :

Dans la section des stocks, le stock est indiqué à 2439 unités, signalé en vert pour indiquer que son niveau est dans la norme.

- Un stock cible de 2656 est indiqué, celui-ci est calculé sur base de la moyenne mobile des 15 mois précédents de distribution.
- Le nombre d'unités du groupe O- est en rouge, car il est inférieur à l'inventaire prévisionnel. Ce qui est réservé en O- dans le stock est également indiqué.

Le CED WIP représente le stock de globules rouges qui est en attente de résultats des tests et qui, une fois validés, rejoindront le stock principal. Quant à la section prélèvement, il est noté l'objectif de prélèvement hebdomadaire à atteindre, qui était de 2897 la semaine du 25/03/24, mais qui n'a pas été atteint. Le nombre de prélèvements de O- est également indiqué et était de 315 la semaine du 25/03, cela représentait 10,9% du prélèvement total.

Dans la section distribution, la prévision est calculée sur une base historique de la demande établie sur base des 15 mois précédents. Au niveau de la distribution, tous les indicateurs sont en vert tant pour le O- que pour la distribution générale.

Ce rapport souligne toute l'importance du groupe O-, aussi bien dans le stock, que pour les prélèvements et la distribution.

C'est sur base de ces prévisions qu'est mis à jour le baromètre des groupes sanguins disponible sur le site de la Croix Rouge (voir figure 11).

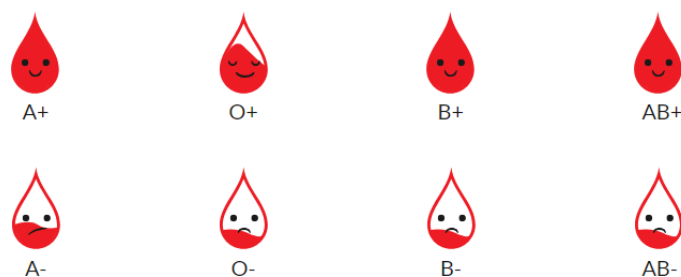


Figure 11 : Baromètre de la Croix Rouge le 14/04/24.

Celui-ci a pour but d'informer les potentiels donneurs à faire don de leur sang en cas de besoin.

La figure 12 détaille le stock de CED.

ABO	Q	VAL	Jsto	%	Dpur REAL	EE REAL	EEK+	CCK-	CMV- <5J	div BB <5J	K+	%K-	WIP <J-1	VAL réservées	DpurK-	EEK-	JSto Moy
TOTAL		2439	-	100%	50	35	10	262	9	2	329	13%	224	11	50	35	4,8
O -		68	1	3%	0	0	0	0	6	2	2	3%	4	10	0	0	1,1
O +		987	6	40%	19	18	6	72	3	0	133	13%	17	0	19	18	5,0
A -		95	3	4%	0	0	0	0	0	0	11	12%	3	0	0	0	2,6
A +		802	6	33%	27	7	2	103	0	0	133	17%	191	0	27	7	5,1
B -		37	4	2%	0	0	0	0	0	0	2	5%	1	0	0	0	3,3
B +		278	>7	11%	1	5	0	73	0	0	23	8%	4	1	1	5	8,4
AB-		10	3	0%	0	0	0	0	0	0	1	10%	0	0	0	0	2,4
AB+		152	>7	7%	3	5	2	14	0	0	24	15%	4	0	3	5	15,8

Figure 12 : Détail du stock de CED le 05/04/24.

La gestion de stock des produits sanguins est complexe comme le confirme dans de nombreux articles scientifiques. Cependant, la plupart des articles se concentrent sur le groupe sanguin AOB et Rhésus, mais ne mettent pas l'accent sur les autres variantes.

Dans le tableau de la figure 12, nous pouvons observer des abréviations telles que : Dpur, EEreal, EEK+, CCK-, CMV-... Mais que signifient tous ces critères ?

Outre le système dit standard ABO, qui doit être respecté, ainsi que RH D communément appelé Rhésus, il existe divers autres systèmes de groupe sanguin Rhésus comportant différentes déclinaisons (phénotypes : D,C,E,c,e).

Le D est utilisé pour le + lorsqu'il est présent et – lorsqu'il est absent. Il existe également le système Kell (10% des personnes sont Kell+) ainsi que d'autres systèmes tels que Fy (Duffy) qui peut avoir des variantes, Fya ou Fyb, le système JK (Kidd), qui a également des déclinaisons jka ou jkb, en tout il y a plus de 42 systèmes sanguins. Il est important de respecter le groupe sanguin du patient pour éviter toute complication hématologique pouvant être fatale.

La Croix Rouge détermine les groupes sanguins AOB, également rhésus, Kell et teste également la présence d'anticorps CMV est également testée, car la plupart des patients les ont déjà développés suite à une infection par un herpèsvirus, mais certaines ne les ont pas. Ces critères qui doivent être respectés par la Croix Rouge afin de fournir le produit sanguin requis. Les autres systèmes sanguins ne sont pas identifiés par la Croix Rouge, en raison des coûts élevés associés à leur identification.

Cependant, lorsqu'un patient nécessite un sang spécifique comme illustré ci-dessous, la Croix Rouge peut avoir ce produit en stock, car les surplus de produits de sang rares sont conservés. La congélation n'est pas effectuée pour les groupes sanguins non-rares, car cela coûte en moyenne 800euros/an pour stocker une poche. Si une poche d'un sang rare n'est pas en stock, la Croix Rouge tente de trouver un donneur compatible dans sa base de données pour répondre à la demande. Si ce composé sanguin n'est pas en stock et qu'aucun donneur compatible n'est disponible, un test supplémentaire est effectué sur une série d'échantillons afin de trouver un sang compatible avec les critères requis.

Ces tests supplémentaires ne sont pas effectués sur chaque échantillon, en raison des coûts élevés pour la Croix Rouge.

La figure 13 présente un exemple de demande particulière :

ID DEMANDE	Q	HOPITAL	Q	PHENO_ASK_CEMATCH	Q	Stock	Congeles	Donneurs	PRE J
Totaux						6	5	481	2
AB- D- E- C- K- Fya- N- s- CW-		Jolimont			0	1	0	187	0
O cc D ee K- Fya- Jkb- M- S-			0	O cc D ee K- Fya- Jkb- M- S-		0	5	98	1
O+ ccEEK- Jka-		Mouscron		O+ ccEEK- Jka-		5	0	196	1

Figure 13 : Demande particulière de CED le 05/04/24.

Le tableau de la figure 14 permet de déterminer un stock cible de CED par jour.

ABO	Q	1J	2J	3J	4J	5J	6J	7J	Jmoy (7J/5.5)
Totaux		586	741	787	1.356	1.878	2.270	2.800	509
O -		63	87	95	161	217	269	331	60
O +		231	288	301	512	716	872	1.083	197
A -		39	51	57	100	135	162	201	37
A +		193	230	239	415	582	698	861	156
B -		11	16	19	32	42	51	62	11
B +		36	45	49	92	130	152	182	33
AB-		3	8	9	13	17	19	23	4
AB+		10	16	18	31	40	47	56	10

Figure 14 : Cible du stock de CED en jours (moyenne des demandes et des distributions sur 15 mois) le 05/04/24.

En effet, ce qui a été obtenu sur une semaine est classé par groupe sanguin. Si on regarde le résultat pour le groupe O-, au bout de 7 jours, il y a eu 331 prélèvements de O-, que l'on divise par 5,5 (car les collectes ne se font pas le samedi après-midi ni le dimanche) la moyenne par jour est donc de 60 poches.

Certains produits sanguins restent plus longtemps en stock que d'autres. La figure 15 présente un graphique illustrant le nombre de jours de stockage en fonction du nombre de poches de groupe sanguin.

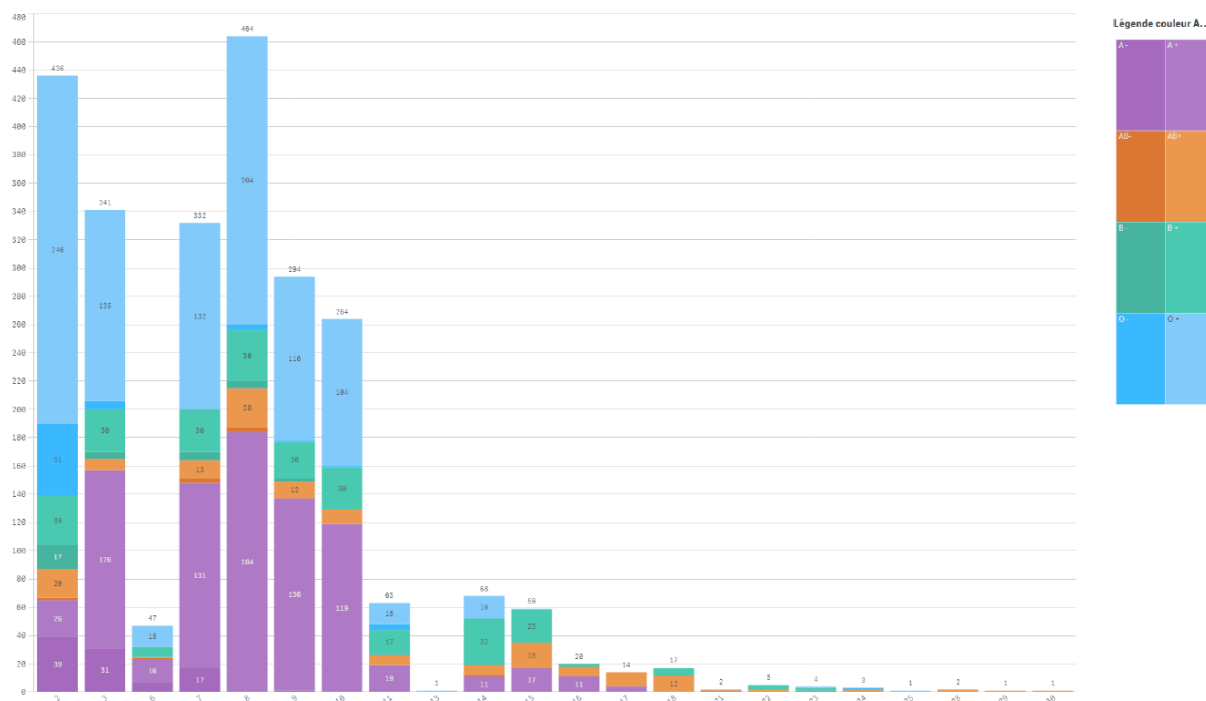


Figure 15 : Âge des CED présents dans le stock le 05/04/24.

Ce graphique montre qu'il y a une disparité de la quantité disponible en fonction des groupes sanguins. En effet, les groupes sanguins O+ et A+ sont disponibles en de plus grandes quantités que les autres groupes. Ceux-ci sont présents dans le stock à environ 10 jours dans de grandes quantités, mettant en évidence une disponibilité parfois supérieure à la demande.

Les produits sanguins sont distribués sur base de la méthode FIFO. Cependant, suivant la nature de la demande, comme par exemple, si le produit globulaire est destiné à un nourrisson, celui-ci doit avoir moins de 5 jours, et les poches irradiées, moins de 14 jours.

Le groupe O-, ainsi que le groupe AB- sont présents en de plus faibles quantités que les autres groupes sanguins. Ce graphique montre également que le sang de groupe O- est fortement demandé. Dans cet exemple, après plus de 2 jours dans le stock, il est rare de trouver un produit de ce groupe.

Des prévisions de prélèvement sont également effectuées par jour de collecte. La figure 16 présente un exemple :

CROIX-ROUGE PRÉVISIONS						
Planning Collectes						
Prévisions par JOUR						
Date	Q	Sem...	Q	PREVU "S"	<15h	>15h
Ven 5/4/24		2024/14		512	237	275
Sam 6/4/24		2024/14		115	115	0
Dim 7/4/24		2024/14		40	40	0
Lun 8/4/24		2024/15		613	176	437
Mar 9/4/24		2024/15		697	242	455
Mer 10/4/24		2024/15		598	113	485
Jeu 11/4/24		2024/15		744	222	522
Ven 12/4/24		2024/15		582	273	308
Sam 13/4/24		2024/15		30	30	0
Dim 14/4/24		2024/15		30	20	10
Lun 15/4/24		2024/16		656	222	433
Mar 16/4/24		2024/16		561	267	294
Mer 17/4/24		2024/16		715	216	499
Jeu 18/4/24		2024/16		732	262	470
Ven 19/4/24		2024/16		527	250	277
Sam 20/4/24		2024/16		82	48	34
Lun 22/4/24		2024/17		514	171	342
Mar 23/4/24		2024/17		537	200	337
Mer 24/4/24		2024/17		495	140	355
Jeu 25/4/24		2024/17		764	225	539
Ven 26/4/24		2024/17		868	448	421
Sam 27/4/24		2024/17		36	36	0
Lun 29/4/24		2024/18		567	177	391
Mar 30/4/24		2024/18		567	283	284
Jeu 2/5/24		2024/18		582	156	427
Ven 3/5/24		2024/18		442	205	237
Sam 4/5/24		2024/18		41	41	0
Lun 6/5/24		2024/19		551	260	291
Mar 7/5/24		2024/19		480	147	333
Mer 8/5/24		2024/19		635	155	479
Ven 10/5/24		2024/19		405	150	255
Sam 11/5/24		2024/19		30	30	0
Dim 12/5/24		2024/19		60	50	10

Figure 16 : Planning des prévisions des collectes de sang le 05/04/24.

Comme le montrent les résultats ci-dessus, la disponibilité de certains groupes sanguins ne correspond pas à la demande des hôpitaux. L'idéal serait de recueillir uniquement les groupes dont on a besoin. C'est la problématique sur laquelle la Croix Rouge travaille en ce moment pour sensibiliser les donneurs, afin d'avoir le bon donneur au bon moment, ce qui n'est pas chose aisée.

Il n'est pas évident d'expliquer aux personnes que l'on ne veut pas leur sang, mais plutôt leur plasma ou qu'un donneur qui était régulier, mais qui a été atteint du cancer et qui est dit guéri par son médecin ne peut plus donner son sang ou dire aux donneurs que l'on n'a pas besoin de leur sang pour l'instant.

Malgré les nombreuses contraintes, la Croix Rouge permet de répondre à 98% de la demande globale des 43 hôpitaux auxquels elle distribue les divers produits sanguins.

5 Conclusion

L'objectif de ce travail était de réaliser une revue de littérature sur la gestion de stock et la distribution des produits sanguins. Comme constaté dans la littérature, ceci constitue un réel enjeu car le sang est un produit irremplaçable et de nombreuses vies en dépendent.

La périssabilité des produits sanguins est un paramètre essentiel dont il est nécessaire de tenir compte lors de la gestion de stock et la distribution des produits sanguins. La méthode FIFO est la plus utilisée. Cependant, la méthode FIFO modifiée est également répandue dans de nombreux articles.

La variation de la demande en sang a un impact majeur sur le gaspillage et les coûts liés au stock. C'est pourquoi, des logiciels sont utilisés afin d'estimer au mieux les prévisions de la demande.

Concernant les dons, les politiques sont très différentes d'un pays à l'autre. Au sein même de la Belgique, l'évolution du nombre de dons est plus ou moins constante. Néanmoins, il est difficile de garder les nouveaux donneurs ce qui pourrait causer un problème pour l'avenir au vu de la population vieillissante.

Concernant le crossmatching, qui consiste à faire correspondre informatiquement les informations sanguines du patient et du donneur afin de permettre la délivrance automatique électronique du sang est d'application dans certains pays. Ceci joue un rôle important pour la sécurité transfusionnelle et engendre un coût moindre qu'une sérologie traditionnelle.

Actuellement, aucun produit de substitution n'a vu le jour, mais des études sont en cours. Ceci permettrait de pallier aux pénuries, de ne plus dépendre des donneurs, et d'avoir le bon produit au bon moment.

Du point de vue de la distribution, la localisation des collectes de sang est importante pour pouvoir garantir une disponibilité suffisante, pour pouvoir répondre aux différents besoins et veiller au gaspillage minimum des produits sanguins. L'EFS de Bretagne en collaboration avec l'Université de Rennes a mis en place un outil permettant de mettre en relation les indicateurs de cartographie statistique et de nouveaux indicateurs via un logiciel SIG, c'est la géomatique. L'actualisation de ces données permet d'adapter rapidement la programmation des collectes afin que celles-ci soient le plus efficaces possible.

Concernant le transport des produits sanguins entre un réseau d'hôpitaux, le modèle TS est, de manière générale, plus efficace que les autres méthodes concernant les commandes et le transbordement des unités de sang. Ceci est dû au fait que la quantité de commande et le transbordement peuvent être coordonnés afin de réduire le niveau de stock, le délai de livraison et les coûts totaux.

La Croix Rouge organise les collectes, sépare, traite, analyse les produits sanguins et les distribuent ensuite aux hôpitaux suivant leur demande. Les prévisions effectuées sur base des 15 derniers mois permettent d'anticiper les demandes futures. La problématique majeure que rencontre la Croix Rouge est d'obtenir le bon produit au bon moment.

Il serait intéressant d'envisager un traitement de données de la croix rouge afin de comparer divers modèles de prévision. Par exemple, un modèle de prévision incluant un coefficient de saisonnalité permettrait peut-être d'améliorer la gestion de prévision et ainsi de se rapprocher le plus possible des besoins réels en sang (voir De Wolf, 2024, Chapitre 5).

6 Bibliographie

- Abbasi, B., & Hosseinifard, Z. (2014). On the Issuing Policies for Perishable Items such as Red Blood Cells and Platelets in Blood Service. *Decision Sciences*, 45(5), 995-1020. <https://doi.org/10.1111/deci.12092>
- Abderrazak, M., & Tremblin, G. (2015). *Abrégé de biochimie appliquée*. eco sciences. https://www.uga-editions.com/medias/fichier/extraits-abrege-biochimie-appliquee_1503402412784-pdf
- Ambroise, L., Prim-Allaz, I., & Séville, M. (2010). *Attirer et fidéliser les donneurs de sang*. <https://shs.hal.science/halshs-00519515v2/document>
- Boch, E., & Giannelloni, J. (2019). Don du sang : Comprendre la logique des donneurs et la valeur du don pour encourager le recrutement et la fidélisation des donneurs. *Décisions Marketing*, 96, 35-51. <https://www.cairn.info/revue-decisions-marketing-2019-4-page-35.htm>
- Coordination Régionale d'Hémovigilance (2024a) Consulté le 25 avril 2024. *Les clés de l'hémovigilance : les groupes sanguins*. https://www.hemovigilance-cnrh.fr/www2/evaluation_et_formation/support_formation/les_groupes_sanguins.pdf
- Coordination régionale d'hémovigilance (2024b) Consulté le 25 avril 2024. *Les clés de l'hémovigilance : manuel d'aide à la formation en transfusion sanguine*. https://www.hemovigilance-cnrh.fr/www2/evaluation_et_formation/les_clef_de_hemovigilance/manuel_aide_formation_transfusion_sanguine.pdf
- De Wolf, D. (2019). *Gestion de la Production et Modélisation. Syllabus du cours, presses de la CIACO, novembre 2019*.
- Dehghani, M., Abbasi, B., & Oliveira, F. (2021). Proactive transshipment in the blood supply chain: A stochastic programming approach. *Omega*, 98, 102112. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.102112>
- Direction générale Soins de santé (2022). *Rapport de la quatrième concertation annuelle sur les critères d'exclusion temporaires et les périodes d'exclusion connexes des donneurs concernant le comportement sexuel*. https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/rapport_du_06-12-2022_concertation_annuelle_criteres_exclusion_don_de_sang.pdf
- Fontaine, M. J., Chung, Y. T., Rogers, W. M., Sussmann, H., Quach, P., Galel, S. A., Goodnough, L. T., & Erhun, F. (2009). Improving platelet supply chains through collaborations between blood centers and transfusion services. *Transfusion*, 49(10), 2040-2047. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2009.02236.x>

- Fortsch, S. M., & Khapalova, E. A. (2016). Reducing uncertainty in demand for blood. *Operations Research For Health Care*, 9, 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2016.02.002>
- Gheraout, I., Elmhadhbi, L., Karray, M., & Archimède, B. (2021). *UN SYSTÈME SOCIO-CYBER PHYSIQUE BASÉ SUR UN RÉSEAU-INFOCENTRÉ POUR LA COLLECTE MOBILE DE SANG*. <https://hal.science/hal-03192809v1/document>
- Halbout, P., Lebaudy, J., Gagneux, F., Brosius, N., Pelletier, B., & Danic, B. (2015). La géomatique au service de la collecte de sang. *Transfusion Clinique et Biologique*, 22(3), 112-126. <https://doi.org/10.1016/j.tracli.2015.05.008>
- Hall, T. C., Pattenden, C., Hollobone, C., Pollard, C., & Dennison, A. R. (2013). Blood Transfusion Policies in Elective General Surgery : How to Optimise Cross-Match-to-Transfusion Ratios. *Transfusion Medicine And Hemotherapy*, 40(1), 27-31. <https://doi.org/10.1159/000345660>
- Korte, E. A., Pozzi, N., Wardrip, N., Ayyoubi, M. T., & Jortani, S. A. (2018). Analytical interference of HBOC-201 (Hemopure, a synthetic hemoglobin-based oxygen carrier) on four common clinical chemistry platforms. *Clinica Chimica Acta*, 482, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2018.03.017>
- Kurup, R., Anderson, A., Boston, C., Burns, L., George, M., & Frank, M. (2016). A study on blood product usage and wastage at the public hospital, Guyana. *BMC Research Notes*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s13104-016-2112-5>
- La Croix Rouge, & De Bouyalsky, I. (2024) Consulté le 18 mars 2024. *Le guide du donneur*. <https://www.donneurdesang.be/brochures/brochure-guide-du-donneur-fr.pdf>
- Labrecque, M. (2024). *Le développement d'une solution d'entreposage prolongeant la viabilité et la fonction de neutrophiles destinés à la transfusion*. Université Laval. <https://corpus.ulaval.ca/entities/publication/91ff09ad-6a26-421d-9f6b-2dbdd362f23f>
- Lowalekar, H., & Ravichandran, N. (2015). Inventory Management in Blood Banks. Dans *International series in management science/operations research/International series in operations research & management science* (p. 431-464). https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1007-6_18
- Organisation mondiale de la santé (2023). *RAPPORT DE SITUATION MONDIAL SUR LA SÉCURITÉ TRANSFUSIONNELLE ET L'APPROVISIONNEMENT EN SANG 2021*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/367671/9789240058590-fre.pdf?sequence=1>
- Piot, J. (2024). Consulté le 22 mars 2024. *Vers la révolution du sang artificiel - Innovation - Corpore Sano - InVivo*. https://www.invivomagazine.com/fr/corpore_sano/innovation/article/654/vers-la-revolutiondu-sang-artificiel
- Rouger, P. (2006). Bilan et évolution de la Transfusion Sanguine dans l'Union Européenne. *Bulletin de L'Académie Nationale de Médecine*, 190(1), 189-204. [https://doi.org/10.1016/s0001-4079\(19\)33360-6](https://doi.org/10.1016/s0001-4079(19)33360-6)

- Schoen, Q., Fontanili, F., Anquetil, A., Truptil, S., & Lauras, M. (2017). Tracking in real time the blood products transportations to make good decisions. *HAL (le Centre Pour la Communication Scientifique Directe)*. <https://imt-mines-albi.hal.science/hal-01618600>
- Seifried, E., Klueter, H., Weidmann, C., Staudenmaier, T., Schrezenmeier, H., Henschler, R., Greinacher, A., & Mueller, M. M. (2010). How much blood is needed ? *Vox Sanguinis*, *100*(1), 10-21. <https://doi.org/10.1111/j.1423-0410.2010.01446.x>
- Service du sang - Croix-Rouge de Belgique (2024) Consulté le 28 février 2024. Qu'est-ce que le sang ? – Service du Sang de la Croix-Rouge de Belgique. Service du Sang - Croix-Rouge de Belgique. Consulté le 4 février 2024, à l'adresse <https://www.donneurdesang.be/fr/en-savoir-plus-sur-le-sang/qu-est-ce-que-le-sang>
- Shokouhifar, M., Sabbaghi, M. M., & Pilevari, N. (2021). Inventory management in blood supply chain considering fuzzy supply/demand uncertainties and lateral transshipment. *Transfusion And Apheresis Science*, *60*(3), 103103. <https://doi.org/10.1016/j.transci.2021.103103>
- Transformation du don de sang* (2024). Hema-Quebec. Consulté le 22 février 2024, à l'adresse <https://www.hema-quebec.qc.ca/sang/savoir-plus/transformation-don.fr.html>
- Wang, Y., Liu, J., & Liu, Y. (2019). Safety issues related to the electronic cross-matching of blood in mainland China. *Medicine*, *98*(35), e16703. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000016703>
- World Health Organization: WHO (2023, 2 juin). *Sécurité transfusionnelle et approvisionnement en sang*. Consulté le 4 février 2024, à l'adresse <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/blood-safety-and-availability#:~:text=L'OMS%20recommande%20un%20d%C3%A9pistage,%C3%A0%20des%20exigences%20de%20qualit%C3%A9>.

7 Annexe : déclaration d'usage d'IA

Je n'ai, pour aucune partie du mémoire, fait usage de l'IA.

28/05/24

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'S. P.' or similar, written in a cursive style.

