



LOUVAIN

School of Management
RESEARCH INSTITUTE

WORKING PAPER

2016/15

**Distribution et gestion des
stocks des produits sanguins :
revue de littérature**

Imane HSSINI, Ph.D student
Nadine MESKENS, Professor
Louvain School of Management Research
Institute

Fouad RIANE, Professor
Ecole Centrale de Casablanca

**Louvain School of Management Research Institute
Working Paper Series Editor: Prof. Frank Janssen
(president-ilsm@uclouvain.be)**

**Distribution et gestion des stocks des produits
sanguins : revue de littérature**

Imane Hssini, Louvain School of Management Research Institute
Nadine Meskens, Louvain School of Management Research Institute
Fouad Riane, Ecole Centrale de Casablanca

Summary

Dans ce papier, nous proposons une revue de littérature portant sur la gestion de la chaîne logistique des produits sanguins. Nous proposons aussi une grille de lecture permettant de classer les travaux présentés selon plusieurs critères : la nature des produits (plaquettes, globules rouges, plasma et sang), l'objectif de l'étude, les méthodes et les modèles utilisés, les objectifs poursuivis et finalement les contraintes prises en compte.

Keywords : Chaîne Logistique, Produits sanguins, Gestion des stocks, Distribution, Obsolescence.

This paper has been accepted for presentation at the GISEH 2016 Conference hosted by Mohammed VI University of Health Sciences in Casablanca, from 11-13 July, 2016, Casablanca, Morocco.

Corresponding author:

PhD student Imane Hssini.
Center for Excellence: CESC
Louvain School of Management / Campus Mons
Université catholique de Louvain
151, Chaussée de Binche
7000 Mons, BELGIUM
Email : imane.hssini@student.uclouvain.be

The papers in the WP series have undergone only limited review and may be updated, corrected or withdrawn without changing numbering. Please contact the corresponding author directly for any comments or questions regarding the paper.
President-ilsm@uclouvain.be, ILSM, UCL, 1 Place des Doyens, B-1348 Louvain-la-Neuve, BELGIUM
www.uclouvain.be/ilsm and www.uclouvain.be/lsm_WP

Louvain School of Management Research Institute
Working Paper Series

DISTRIBUTION ET GESTION DES STOCKS DES PRODUITS SANGUINS : REVUE DE LITTÉRATURE

Imane Hssini¹

*Louvain School of Management, Université catholique de Louvain, 151 Chaussée de Binche,
B-7000 Mons BELGIUM*
imane.hssini@student.uclouvain.be

Nadine Meskens

*Louvain School of Management Research Institute, Université catholique de Louvain, 151 Chaussée de Binche,
B-7000 Mons BELGIUM*
nadine.meskens@uclouvain-mons.be

Fouad Riane

*Ecole Centrale de Casablanca,
20520 Casablanca, Maroc*
fouad.riane@centrale-casablanca.ma

Accepted (9 -04-2016)

Résumé : Dans ce papier, nous proposons une revue de littérature portant sur la gestion de la chaîne logistique des produits sanguins. Nous proposons aussi une grille de lecture permettant de classer les travaux présentés selon plusieurs critères : la nature des produits (plaquettes, globules rouges, plasma et sang), l'objectif de l'étude, les méthodes et les modèles utilisés, les objectifs poursuivis et finalement les contraintes prises en compte.

Mots clés : Chaîne Logistique ; Produits sanguins ; Gestion des stocks ; Distribution ; Obsolescence.

1. Introduction

Une gestion optimale de la chaîne logistique du sang est devenue une nécessité aussi bien dans les pays développés que moins développés. Le sang est non seulement un produit périssable mais aussi un produit décomposable en plusieurs produits sanguins labiles² (les plaquettes, le plasma et les globules rouges) eux aussi périssables avec des durées et des conditions de conservation différentes. Ces particularités rendent sa distribution et sa gestion des stocks extrêmement difficiles. A cela s'ajoute la difficulté liée à la compatibilité entre les groupes sanguins. En effet, il existe quatre groupes sanguins (A, B, AB, O) appartenant au système ABO que l'on combine avec le système Rhésus afin de déterminer

¹ Auteur de contact.

² Nous utiliserons indifféremment les termes « produits sanguins labiles » ou « produits sanguins ».

si le groupe sanguin est positif ou négatif pour obtenir les différents types de sang : A+, A-, B+, B-, AB+, AB-, O+ et O-. Notons que la compatibilité des groupes sanguins ne dépend pas seulement des systèmes ABO et Rhésus mais aussi du type de produits sanguins (plasma, globules rouges...). En effet, le receveur doit être transfusé avec un produit sanguin issu d'un donneur de même groupe sanguin. Cependant, dans certains cas exceptionnels (par exemple lors des pénuries) lorsque le même groupe sanguin du receveur n'est pas disponible, un autre groupe sanguin compatible est utilisé.

Contrairement aux autres produits périssables, le sang est une ressource dont l'offre et la demande sont imprévisibles et lorsque la demande n'est pas satisfaite, le sort de vies humaines peut être mis en jeu. Dans ce sens, les pénuries de sang ont des coûts élevés pour la société puisqu'elles peuvent causer une augmentation du taux de mortalité et une dégradation des services sanitaires. Il faut aussi signaler que les réponses à ces problèmes de pénurie doivent éviter le surstock en produits sanguins pour ne pas avoir des produits inutilisables par effet d'obsolescence.

Dans cet article, nous présentons un état de l'art portant d'une part sur la gestion des stocks des produits sanguins, d'autre part sur leur distribution et enfin sur les deux ensembles.

2. Etat de l'Art

La chaîne logistique des produits sanguins a été au centre des préoccupations de certains chercheurs comme Prastacos (1984), Nahmias (2011), Rossetti et al. (2012), Beliën et Forcé (2012) et Pierskalla (2004) qui ont présenté des revues de littératures portant sur différents problèmes de gestion des produits sanguins. Par exemple, Nahmias (2011) s'est intéressé par la gestion des stocks, Rossetti et al. (2012) et Pierskalla (2004) ont présenté des revues de littérature portant sur la gestion des stocks et sur la distribution. En effet, parmi les premiers chercheurs intéressés par la gestion des produits sanguins citons Prastacos (1984) qui a présenté une revue de littérature des différentes politiques de gestion des stocks des produits sanguins. Une autre revue a été présentée par Beliën et Forcé (2012) classifiant les articles selon plusieurs critères tels que le type de problème traité, les méthodes de résolution et les approches proposées, les mesures de performance, etc.... Les articles présentés dans cette revue ont traité différents problèmes de gestion des stocks et de distribution des produits sanguins. Pierskalla (2004) s'est aussi intéressé à la gestion des produits sanguins. Il s'est focalisé sur les décisions stratégiques prises par les gestionnaires des banques de sang à savoir : le nombre et la localisation des centres de transfusion communautaires, les fonctions assurées par ces centres (collecte, décomposition, qualification biologique...), la coordination entre l'offre et la demande. De plus, il s'est préoccupé des problèmes tactiques et opérationnels liés à la collecte de sang, le contrôle

des niveaux des stocks, l'allocation des produits sanguins aux hôpitaux, le cross-matching....

L'optimisation d'une chaîne logistique nécessite l'optimisation de ses différents processus à savoir : la collecte, la décomposition du sang en produits sanguins, la qualification biologique, le stockage et la distribution. Dans le cas de la chaîne logistique des produits sanguins, cette optimisation nécessite, toutefois, une focalisation sur les processus de stockage et de distribution, les plus difficiles à gérer. Ceci est dû, d'une part, à la nature de la demande des produits sanguins et d'autre part, aux caractéristiques des produits sanguins. A cet effet, notre revue de littérature va essentiellement porter sur les articles traitant ces deux processus.

Dans chacune des sections suivantes, un tableau résume l'objectif, la nature du produit considéré, les méthodes ainsi que les principales contraintes prises en compte dans les articles étudiés.

2.1. La gestion des stocks

A l'instar des établissements industriels et commerciaux, les établissements de santé ont accordé une grande importance à la notion de gestion de stock. Dans le cas des produits sanguins labiles, une gestion optimale des stocks est une nécessité non seulement au niveau des hôpitaux (Sarhangian et al. (2015), Cohen et Pierskalla (1979), Jennings (1973), Gunpinar et Centeno (2015), Sirelson et Brodheim (1991), Lowalekar et Ravichandran (2015), Pink et al.(1994), Haijema et al.(2009), Haijema (2011)) mais aussi au niveau des établissements de transfusion sanguine (Kopach et al. (2008), Kendall et Lee (1980), Rabinowitz (1973), Afshar et al. (2014), Frankfurter et al. (1974), Guðbjörnsdóttir (2015), Grasas et al. (2015), Blake et al. (2013)).

Plus de 90% de la littérature existante propose une gestion efficace des stocks en minimisant les taux de pénurie et/ou d'obsolescence (voir Tableau 1). La maximisation de la qualité des produits et la minimisation du coût de transfert s'ajoutent comme objectifs dans certaines études. Pour atteindre ces objectifs, diverses méthodes de résolution ont été utilisées. Comme nous le constatons dans le Tableau 1, la simulation est une des méthodes les plus utilisées (plus de la moitié des recherches) dans le traitement des problèmes de gestion des produits sanguins. D'un autre côté, Lowalekar et Ravichandran (2014) considèrent la simulation comme un dernier recours, lorsque la modélisation analytique, en général, devient trop difficile.

Les autres méthodes les plus répandues sont la programmation dynamique et stochastique, les méthodes de régression (linéaire et logistique), le goal programming et les

métaheuristiques. D'autres méthodes telles que le lissage exponentiel et les chaînes de Markov ont été utilisées pour prévoir le taux de la demande et la probabilité d'avoir des produits obsolètes. En fonction de ces prévisions, le gestionnaire du stock peut prendre les mesures nécessaires afin d'avoir un niveau de stock optimal. Des modèles basés sur la théorie des files d'attente ont été utilisés pour analyser les politiques d'allocation des produits sanguins. L'approche générale de ces modèles est de décrire analytiquement différentes mesures de performance en vertu des politiques d'allocation basées sur l'âge des produits (généralement la politique FIFO) à savoir la distribution de l'âge des produits transfusés et le taux de pénurie (Atkinson et al. (2012), Abouee-Mehrizi et al. (2013)). Des tests statistiques sont utilisés pour déterminer et analyser les facteurs affectant le niveau des stocks et le taux d'obsolescence.

Une gestion efficace des stocks des produits sanguins labiles nécessite la prise en compte de plusieurs facteurs impactant le niveau de stock. Parmi ces facteurs, citons ceux liés à la politique cross-matching, à savoir le temps de réservation de produit sanguin et le ratio quantité transfusée/quantité réservée (Cohen et al. (1983), Pink et al. (1994), Perera et al. (2009), Stanger et al. (2012), Cohen et Pierskalla (1979), Jennings (1973), Pierskalla (2004)). En effet, les médecins ont le droit de réserver une unité de sang (poche de sang) afin de l'utiliser lors d'une intervention chirurgicale déjà programmée. La longueur de la période de réservation a un impact majeur sur l'obsolescence et la pénurie des produits sanguins (Lowalekar et Ravichandran (2015), Perera et al. (2009)). Ceci implique que la diminution de la durée de réservation des unités de sang permet de baisser le taux d'obsolescence et les niveaux des stocks (Perera et al. (2009), Katsaliaki et Brailsford (2007)). Durant la période de réservation, les unités de sang compatibles sont réservées pour un patient particulier. Elles sont maintenues dans un stock dit de « réservation » et sont remises en stock dit « anonyme » si elles restent inutilisées à la fin de la période. Afin d'augmenter la probabilité que l'unité de sang soit utilisée au cours de la période de réservation, Dumas et Rabinowitz (1977) ont proposé le double cross-matching³ comme politique alternative du simple cross-matching. Cela consiste à tester deux échantillons issus de deux patients. De ce fait, l'unité de sang peut être réservée pour deux patients potentiels au lieu de la réserver pour un seul tout en s'assurant que le sang est disponible pour les deux.

Le choix de la politique d'allocation basée sur l'âge de produit est un autre facteur impactant le niveau de stock (Cohen et al. (1983), Duan et Liao (2013), Sabouri (2014)). Dans le cas des produits périssables y compris les produits sanguins, le FIFO (First In First Out) est la politique la plus utilisée (Kopach et al. (2008)). L'adoption de cette politique permet la réduction du nombre des produits sanguins obsolètes et par conséquent, favorise l'augmentation de la disponibilité de produits sanguins (Abouee-Mehrizi et al. (2013),

³ Cross-matching ou test de compatibilité croisée est un test qui se fait au laboratoire avant la transfusion afin d'assurer la compatibilité entre le sang du donneur et celui du receveur.

Pegels et Jelmert (1970), Chazan et Gal (1977), Fontaine et al. (2009)). Malgré les avantages que présente cette politique, il existe certains cas où elle n'est pas adoptable comme, par exemple, lors des chirurgies cardiaques nécessitant l'utilisation des produits sanguins "frais". Selon Koch et al. (2008), les globules rouges stockés plus de 14 jours peuvent entraîner un risque de complications postopératoires. Bien que la réduction de la durée de vie des produits sanguins a un impact positif du côté sanitaire, cette réduction peut affecter les niveaux des stocks de façon négative. La réduction de durée de vie –ou de l'âge- des produits sanguins est un axe de recherche étudié par Sarhangian et al. (2015), Grasas et al. (2015), Abouee-Mehrzi et al. (2013), Fontaine et al. (2010), Hardy (2015). Une méthode de simulation a été développée par Blake et al. (2013) afin d'étudier l'impact de la réduction de la durée de vie des globules rouges utilisés au niveau d'un centre de transfusion régional. L'étude a montré que cette réduction est à l'origine d'une augmentation des taux de pénurie et d'obsolescence dans les hôpitaux, quel que soit leur taille. Toutefois, la mise en place des politiques efficaces de gestion des stocks est nécessaire pour garder ces taux faibles.

La multiplicité des groupes sanguins⁴ est aussi un facteur à prendre en considération lors de la gestion des stocks (Duan et Liao (2014)). La répartition des groupes sanguins varie dans une même population. Certains groupes sont rares, d'autres sont plus courants. Pendant les pénuries, la demande en produits sanguins des groupes sanguins dits universels (O dans le cas des globules rouges) augmente. D'où l'intérêt de maintenir des réserves suffisantes en produits sanguins des groupes sanguins qui sont les plus utilisés. Les recherches en gestion des stocks des produits sanguins prenant en compte les différents groupes sanguins et leur compatibilité sont considérablement limitées (Duan et Liao (2014), Kopach et al. (2008), van Dijk et al. (2009), Owens et al. (2001), Lowalekar et Ravichandran (2015), Grasas et al. (2015), Abdulwahab et Wahab (2014), Atkinson et al. (2012), Katsaliaki et Brailsford (2007)). Dans ce cadre, Abdulwahab et Wahab (2014) ont développé un modèle mathématique de gestion des stocks tenant compte des différents groupes sanguins et de l'aspect stochastique de la demande et déterministe de la livraison. Ce modèle a été formulé en utilisant la programmation dynamique approchée. Son efficacité a été évaluée sur la base de quelques critères tels que la minimisation de la pénurie des plaquettes sanguines et de l'obsolescence.

Par ailleurs, Duan et Liao (2014), Lang (2010) et Grasas et al. (2015) ont pris en compte la possibilité de substitution entre certains groupes sanguins dans leurs études. Lang (2010) a développé un modèle de simulation à événements discrets d'une banque de sang multi-sites avec possibilité de transfert entre sites et de substitution entre les groupes sanguins. Le transfert préventive – transfert effectué avant qu'une pénurie aura lieu effectivement- et la substitution réactive - substitution effectuée si le produit demandé est déjà en rupture de stock- sont permis. La détermination d'un compromis entre la disponibilité des produits

⁴ Par groupe sanguin nous entendons les huit types de sang (O+, A+, B+, AB+, O-, A-, B-, AB-)

- minimisation du taux de pénurie- et les coûts de transfert entre sites est l'objectif visé par Lang (2010). Katsaliaki et Brailsford (2007) ont modélisé la chaîne logistique des produits sanguins depuis le donneur jusqu'au receveur en tenant compte des différents groupes sanguins, de la substitution, de la durée de réservation liée au cross-matching et de l'âge de chaque produit. Le modèle proposé est basé sur la simulation à événements discrets. La performance du système étudié a été mesurée en fonction des taux d'obsolescence et de pénurie, et du nombre des substitutions effectuées.

Ces facteurs représentent à la fois des éléments impactant les niveaux des stocks mais aussi des contraintes qui doivent être respectées pour assurer une bonne gestion des stocks. En plus des contraintes déjà énoncées ci-dessus, il en existe d'autres qui doivent aussi être prises en compte.

Comme montré dans le Tableau 1, certaines contraintes sont présentes quasiment dans tous les articles cités dans cette revue à savoir : la durée de vie, l'âge des produits, le taux de la demande reflétant le nombre des demandes en produits sanguins pendant une période donnée, le stock disponible. D'autres contraintes sont moins considérées, à savoir : celles liées au cross-matching (temps de réservation et ratio quantité transfusée/quantité réservée), les groupes sanguins, le délai de réapprovisionnement, l'activité mensuelle de transfusion représentant le nombre d'unités transfusées pendant un mois au niveau d'une région et finalement la distance entre les établissements de transfusion (fournisseurs de produits sanguins) et les hôpitaux. En effet, une distance éloignée de l'établissement de transfusion oblige l'hôpital à diminuer le nombre de livraison et à avoir un surstock pour pallier aux cas d'urgence. Ce surstock provoque l'augmentation du taux d'obsolescence. Par contre, si l'hôpital est proche, il a tendance à multiplier les livraisons et de bénéficier des délais d'approvisionnement réduits pour ne pas avoir un surstock (Heddle et al. (2009)).

Dans la majorité des recherches portant sur la gestion des stocks des produits sanguins, les chercheurs se sont penchés sur la gestion des stocks des globules rouges. D'après le Tableau 1, nous constatons que 25 papiers sur 38 sont consacrés uniquement à la gestion des globules rouges. L'importance accordée à la gestion des globules rouges peut être justifiée par le taux élevé de la demande en ces produits dû à la diversité de leurs utilisations.

Tableau 1 : Analyse de la littérature de la chaîne logistique du sang concernant la gestion des stocks

Auteur	Produits				Objectif				Méthode/ Modèle utilisées										Contraintes									
	Globules rouges	Plaquettes	Plasma	Sang	M in.taux pénurie	M in taux obsol.	Max la qualité	Min Coût transf.	Méaheuristique	Lissage expo.	Goal program.	File d'attente	Ch. de Markov	Progr. dynam.	Progr.stochast..	Régression	Test statistique	Simulation	Age du produit	Délai d'approv.	Dist. établ. trasnf - honitiaux	Durée de vie	Qte transf./ qte réserv.	Stock disponible	Taux de la demande	Groupe sanguin	Tps de réserv	Activité mens. de Transf
Abdulwahab et Wabab (2014)		X			X	X								X										X		X		
Abouee-Mehrizi et al. (2013)	X				X							X							X						X			
Afshar et al. (2014)	X					X												X		X			X	X				
Atkinson et al. (2012)	X				X							X						X	X			X			X			
Blake et Hardy (2014)	X					X												X			X			X				
Blake et al. (2013)	X				X	X												X	X			X		X		X		
Chazan et Gal (1977)	X					X							X						X			X		X		X		
Cohen et al. (1983)	X					X												X	X				X	X	X	X	X	
Cohen et Pierskalla (1979)				X		X										X						X	X		X		X	
Duan et Liao (2013)		X			X	X			X										X			X						
Duan et Liao (2014)	X					X			X										X			X				X		
Dumas et Rabinowitz (1977)	X					X																X		X				
Fontaine et al. (2009)		X			X	X																X						
Fontaine et al. (2010)	X					X												X	X						X	X		
Frankfurter et al. (1974)				X		X				X												X		X				
Guðbjörnsdóttir (2015)	X				X	X										X		X				X			X			
Gunpinar (2015)	X	X			X	X									X							X						
Haijema (2011)		X			X	X									X							X			X			
Haijema et al. (2009)		X				X								X				X				X		X				
Hardy (2015)	X				X	X												X	X						X			
Heddle et al. (2009)	X					X										X					X	X					X	
Jennings (1973)				X	X	X												X				X	X		X			
Katsaliaki et Brailsford (2007)	X				X	X												X	X			X		X		X	X	
Kendall et Lee (1980)	X				X	X	X				X								X	X	X							
Kopach et al. (2008)	X				X	X						X						X				X			X	X		
Lang (2010)	X				X			X										X	X	X				X	X	X		
Lowalekar et Ravichandran (2015)	X	X	X	X	X	X												X	X				X	X	X	X		
Owens et al. (2001)	X				X	X													X			X			X			
Pegels et Jelmert (1970)	X				X	X							X						X			X		X				
Perera et al. (2009)	X					X											X					X		X			X	
Pierskalla (2004)	X				X	X												X				X	X	X	X	X	X	
Pink et al. (1994)		X				X											X					X		X		X	X	
Rabinowitz (1973)	X					X												X				X						
Sabouri (2014)	X				X									X				X	X						X			
Sarhangian et al. (2015)	X					X												X	X							X		
Sirelson et Brodheim (1991)		X			X	X										X		X	X			X			X			
Stanger et al. (2012)	X					X													X				X	X				
van Dijk et al. (2009)		X			X	X								X				X	X			X		X		X		

2.2. Distribution

La distribution des produits sanguins est l'ensemble des activités permettant de mettre à la disposition du patient le bon produit au bon moment. L'optimisation de ce processus met en avant plusieurs axes d'intervention à savoir la gestion des tournées de véhicules, la détermination de la localisation optimale des sites de production, de distribution, etc.... Conscients que cette optimisation conduit impérativement à une optimisation de la chaîne logistique, les hôpitaux et les établissements de transfusion considèrent la gestion de la distribution comme une étape importante et incontournable pour la bonne gestion de la chaîne logistique. Plusieurs chercheurs se sont focalisés sur ce processus, notamment Çetin et Sarul (2009), Sivakumar et al. (2010), Or et Pierskalla (1979) et Rusman et Rapi (2014). L'optimisation du coût de distribution/transport est un objectif visé par Rusman et Rapi (2014), Sivakumar et al. (2010) et Or et Pierskalla (1979). Ces derniers se sont focalisés sur la détermination du nombre et de la localisation optimale des établissements de transfusion, de l'affectation des hôpitaux aux établissements qui les approvisionnent et sur l'optimisation des tournées de véhicules afin de minimiser les coûts de distribution. Ils ont développé des modèles de programmation linéaire et ont proposé des méthodes de résolution heuristiques. Ils ont attribué à chaque véhicule une distance maximale qui peut être parcourue et qui doit être respectée. Sivakumar et al. (2010) ont étudié le problème de tournée de véhicules avec livraison et collecte et fenêtre de temps dans le cas des produits sanguins. Ils ont utilisé une flotte de véhicules hétérogènes – les véhicules n'ont pas les mêmes capacités- afin de satisfaire les demandes. Chaque demande est caractérisée par la collecte des produits des établissements de transfusion régionaux et la livraison de ces produits aux hôpitaux. L'objectif de l'étude a été la minimisation du coût de distribution tout en satisfaisant les contraintes suivantes : le respect des capacités des véhicules, des fenêtres de temps, de la mutualisation de transport (la livraison et la collecte se font par le même véhicule). Pour atteindre cet objectif, ils ont opté pour une méta-heuristique de voisinage à savoir le recuit simulé.

La minimisation de la distance entre les établissements de transfusion et les hôpitaux est un autre objectif souvent rencontré. Dans certains articles traitant les problèmes de gestion des stocks, cet objectif a été considéré comme une contrainte à respecter. Il consiste à trouver l'emplacement approprié de ces établissements de telle sorte qu'ils soient le plus proche possible des hôpitaux qui les approvisionnent en produits sanguins. Dans cette optique, Çetin et Sarul (2009) ont mis en place un modèle de programmation non linéaire à objectifs multiples, « Nonlinear Goal Programming ». Parmi les objectifs visés, citons la minimisation du coût de localisation des établissements de transfusion et la minimisation de la distance entre ces établissements et les hôpitaux. Un nombre maximal des établissements de transfusion à installer dans chaque région est fixé comme contrainte à respecter.

Malgré que le sang soit toujours décomposé en produits sanguins, les chercheurs présentés dans cette section, ont traité les problématiques liées à la distribution des produits sanguins en parlant du sang sans préciser la nature du produit étudié, d'où la suppression de la colonne 'produit' du Tableau 2.

Tableau 2 : Analyse de la littérature de la chaîne logistique du sang concernant la distribution

	Objectif			Méthodes/Modèles				Contraintes							
Auteur	Min coût de distribution	Min cout de localisation	Min Dist. établ. transnf - hopitaux	Non linear Goal programming	Progr. linéaire	Heuristique	Métaheuristique	Nature de la flotte	Fenêtre de temps	capacité du véhicule.	Mutuali. du transp	Dist. parcourue	Durée de vie	Nb max établ. transf.	Taux de la demande
Çetin et al.(2009)		X	X	X									X	X	
Or et Pierskalla (1979)	X				X	X				X		X		X	X
Rusman et Rapi (2014)	X				X							X			X
Sivakumar et al. (2010)	X				X		X	X	X	X	X				

2.3. Distribution et gestion des stocks

Dans cette section nous nous intéressons par deux types de gestion : La gestion intégrée et la gestion non intégrée de la distribution et de stockage. Par gestion intégrée, nous entendons que le gestionnaire doit optimiser simultanément le stockage et la distribution, tandis que dans le cas d'une gestion non intégrée, il optimise un seul processus –distribution ou stockage- tout en tenant compte de l'impact qu'a l'autre processus sur le processus à optimiser.

Gestion intégrée de la distribution et de stockage. L'optimisation de la gestion de la chaîne logistique est devenue une nécessité tant pour les fournisseurs que pour les clients. Plusieurs voies d'optimisation ont été conçues; citons parmi elles, la gestion intégrée de la distribution et des stocks. Ce type de gestion consiste à planifier à la fois les processus de stockage et de distribution et ce, en répondant de façon efficace aux questions suivantes : quand, combien, et/ou comment devons-nous stocker et distribuer afin d'optimiser au maximum ces deux processus. En effet, parmi les premiers chercheurs qui ont mis l'accent sur l'importance d'étudier le problème d'optimisation simultanée de la distribution et de la gestion des stocks (IRP)⁵ des produits périssables, citons Federgruen et al. (1986). Ils ont traité non seulement le problème d'allocation des produits périssables –distribués à partir d'un centre régional à un ensemble donné d'emplacements avec

des demandes stochastiques - mais également le problème de la planification de la distribution. L'objectif de cette étude est la minimisation des coûts de distribution, de pénurie et d'obsolescence. Ils ont spécifié que les méthodes présentées dans leur papier peuvent aussi être appliquées aux produits sanguins. Des années plus tard, Hemmelmayr et al. (2009) ont présenté une solution pour la minimisation du coût de distribution d'un produit sanguin en considérant une demande déterministe. La solution proposée est basée sur deux approches : la programmation linéaire en nombres entiers et une métaheuristique, la recherche à voisinage variable (Variable Neighborhood Search (VNS)). Cette solution a été étendue par Hemmelmayr et al. (2010) pour le cas d'une demande stochastique et aussi en intégrant le coût des livraisons urgentes à la fonction objectif. Dans le même cadre, une étude plus récente est présentée par

⁵ Inventory Routing Problem

Kochan et al. (2016). Ils se sont préoccupés du problème de distribution des produits sanguins lors des catastrophes. Ils ont combiné le problème de voyageur de commerce et le problème du vendeur des journaux dans un même modèle dont l'objectif est de déterminer les meilleurs itinéraires possibles permettant de minimiser la distance totale parcourue pour distribuer des quantités optimales des produits sanguins.

Dans le cas des problèmes IRP, en plus des contraintes liées à la gestion des stocks et à la distribution mentionnées précédemment, d'autres contraintes ou ce que nous appelons variantes du problème IRP, sont prises en compte. Parmi ces variantes, citons : la nature de la demande (déterministe ou stochastique), l'horizon de la planification (fini ou infini), la taille de la flotte représentant le nombre des véhicules utilisés pour la livraison (un seul ou plusieurs) (voir Tableau 3).

Gestion non intégrée de la distribution et de stockage. Vu l'impact mutuel existant entre la distribution et le stockage des produits sanguins, Bellabdaoui et al. (2014) ont optimisé le coût de distribution tout en tenant compte des contraintes liées à la gestion des stocks. Ils ont traité le problème de redistribution des produits sanguins labiles entre les centres de transfusion Marocain déficitaires et ceux excédentaires. Ils ont proposé un modèle mathématique linéaire en nombres entiers dont la fonction objectif est la minimisation du coût de distribution. Ce problème de redistribution est caractérisé par un nombre de contraintes à prendre en compte telles que le stock disponible et la quantité à transférer permettant de réaliser un équilibre entre les stocks des différents centres.

Tableau 3 : Analyse de la littérature de la chaîne logistique du sang concernant la distribution et la gestion des stocks

	Produits		Objectif				Méthodes			Contraintes										
										Gestion de stock					Distribution			IRP		
Auteur	Globules rouges	Sang	Min cout de réapprovisionnement	Min cout obsol	Min distance	Min cout distri	Métaheuristique	Prog. linéaire	Prog. linéaire en nombres entiers	Age du produit	Délai d'approv.	Durée de vie	Quant. transf.	Stock disponible	Nature de la flotte	Capacité du véh	Taux de la dem.	Horizon de planif	Taille de la flotte	Nature de demande
Bellabdaoui et al. (2014)		X				X		X					X	X						
Federgruen, et al. (1986)		X	X	X		X			X	X		X		X		X		X	X	X
Hemmelmayr et al.(2009)		X				X	X		X		X	X		X	X		X	X	X	X
Hemmelmayr et al.(2010)	X					X	X		X		X	X		X	X		X	X	X	X
Kochan et al. (2016)		X			X				X			X		X		X	X	X	X	X

3. Conclusion

Suite à notre revue de littérature, nous avons relevé deux constats. Premièrement, la majorité des recherches portent soit sur le sang total soit sur un des deux produits sanguins à savoir les globules rouges et les plaquettes, avec une prédominance des globules rouges par rapport aux plaquettes et au sang total. Nous n'avons trouvé qu'un seul article portant sur le plasma. L'absence d'articles traitant les problèmes de stockage et de distribution du plasma peut être justifiée par sa nature moins périssable par rapport aux autres produits vu qu'il a une longue durée de vie qui peut aller jusqu'à un an. Deuxièmement, à notre connaissance, aucune recherche ne s'est intéressée à l'optimisation de la chaîne logistique des produits sanguins dans sa globalité, en traitant le cas de la distribution des trois produits sanguins à la fois. Aussi, il faut noter que la plupart des articles traitant le problème de l'optimisation de la chaîne logistique des produits sanguins se sont focalisés sur la gestion du stock et très peu sur la distribution. Malgré l'abondante littérature sur les problèmes IRP, nous constatons que les recherches traitant le problème IRP appliqué aux produits sanguins sont très rares. Ceci peut être justifié par les difficultés liées à la résolution de ce type de problème. En effet, d'une part le problème d'optimisation des tournées de véhicules est un problème d'optimisation combinatoire, il est considéré comme NP-difficile et d'autre part, les problèmes de gestion des stocks des produits critiques comme les produits sanguins ne sont pas facilement résolus. La combinaison de ces deux problèmes conduit à un problème NP-difficile qui ne peut pas être résolu, pour des problèmes de taille réelle, en utilisant des méthodes exactes.

Au niveau des objectifs, plus que la moitié des articles indiqués dans la revue de littérature relative à la gestion des stocks ont présenté des solutions pour minimiser les taux d'obsolescence et de pénurie; ce qui met bien l'accent sur l'importance et la difficulté de prévoir l'offre et la demande. Ces solutions se sont basées principalement sur des modèles de simulation ce qui confirme la complexité d'optimiser la gestion de ces produits.

4 Références

- Abdulwahab U, Wahab MIM. (2014), Approximate dynamic programming modeling for a typical blood platelet bank. *Computers & Industrial Engineering*. (0):1-12.
- Abouee-Mehrizi H, Baron O, Berman O, Sarhangian V. (2013), Allocation Policies in Blood Transfusion. *Working Paper*. (http://www-2.rotman.utoronto.ca/opher.baron/files/S9_Allocation_Policies_in_Blood_Transfusion.pdf).
- Afshar J, Sadeghiamirshahidi N, Firouzi AR, Zahraee SM, Syed Hassan SAH. (2014), Improving the Inventory Levels of a Blood Supply Chain Through System Dynamic Simulation. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*. 69(6):1-4.
- Atkinson MP, Fontaine MJ, Goodnough LT, Wein LM. (2012), A novel allocation strategy for blood transfusions: investigating the tradeoff between the age and availability of transfused blood. *Transfusion*. 52:108-117.
- Beliën J, Forcé H. (2012), Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*. 217(1):1-16.
- Bellabdaoui A, Bennis I, Saadi J, Benajiba M. (2014), Optimisation des niveaux de stock dans les centres de transfusion sanguine au Maroc. *Transfusion Clinique et Biologique*. 21(1):15-22.
- Blake JT, Hardy M. (2014), A generic modelling framework to evaluate network blood management policies: The Canadian Blood Services experience. *Operations Research for Health Care*. 3(3):116-128.

- Blake JT, Hardy M, Delage G, Myhal G. (2013), Déjà-vu all over again: using simulation to evaluate the impact of shorter shelf life for red blood cells at Héma-Québec. *Transfusion*. 53(7):1544-1558.
- Çetin E, Sarul LS. (2009), A Blood Bank Location Model: A Multiobjective Approach. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*. 2(1):112-124.
- Chazan D, Gal S. (1977), A Markovian Model for a Perishable Product Inventory. *Management Science*. 23(5):512-521.
- Cohen MA, Pierskalla WP. (1979), Target Inventory Levels for a Hospital Blood Bank Or a Decentralized Regional Blood Banking System. *Transfusion*. 19(4):444-454.
- Cohen MA, Pierskalla WP, Sassetti RJ. (1983), The impact of adenine and inventory utilization decisions on blood inventory management. *Transfusion*. 23(1):54-58.
- Duan Q, Liao TW. (2013), A new age-based replenishment policy for supply chain inventory optimization of highly perishable products. *International Journal of Production Economics*. 145(2):658-671.
- Duan Q, Liao TW. (2014), Optimization of blood supply chain with shortened shelf lives and ABO compatibility. *International Journal of Production Economics*. (0):1-49.
- Dumas MB, Rabinowitz M. (1977), Policies for Reducing Blood Wastage in Hospital Blood Banks. *Management Science*. 23(10):1124-1132.
- Federgruen A, Prastacos G, Zipkin PH. (1986), An Allocation and Distribution Model for Perishable Products. *Operations research*. 34(1):75-82.
- Fontaine MJ, Chung YT, Erhun F, Goodnough LT. (2010), Age of blood as a limitation for transfusion: potential impact on blood inventory and availability. *Transfusion*. 50(10):2233-2239.
- Fontaine MJ, Chung YT, Rogers WM, et al. (2009), Improving platelet supply chains through collaborations between blood centers and transfusion services. *Transfusion*. 49(10):2040-2047.
- Frankfurter GM, Kendall KE, Pegels CC. (1974), Management Control of Blood Through a Short-Term Supply-Demand Forecast System. *Management Science*. 21(4):444-452.
- Grasas A, Pereira A, Bosch MA, Ortiz P, Puig L. (2015), Feasibility of reducing the maximum shelf life of red blood cells stored in additive solution: a dynamic simulation study involving a large regional blood system. *Vox Sanguinis*. 108(3):233-242.
- Guðbjörnsdóttir EE. (2015), Blood Bank Inventory Management Analysis. *Reykjavík University*. Thesis of Master of Science in Engineering Management:1-140.
- Gunpinar S, Centeno G. (2015), Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. *Computers & Operations Research*. 54(0):129-141.
- Haijema R. (2011), Optimal Issuing of Perishables with a Short Fixed Shelf Life. *Computational Logistics*. 6971:160-169.
- Haijema R, van Dijk N, Wal JVD, Sibinga CS. (2009), Blood platelet production with breaks: optimization by SDP and simulation. *International Journal of Production Economics*. 121(2):464-473.
- Hardy M. (2015), SIMULATION OF A REDUCED RED BLOOD CELL SHELF LIFE. *Thesis of Master of Applied Science*. Dalhousie University:1-77.
- Heddle NM, Liu Y, Barty R, et al. (2009), Factors affecting the frequency of red blood cell outdates: an approach to establish benchmarking targets. *Transfusion*. 49(2):219-226.
- Hemmelmayr V, Doerner K, Hartl R, Savelsbergh MP. (2009), Delivery strategies for blood products supplies. *OR Spectrum*. 31(4):707-725.
- Hemmelmayr V, Doerner KF, Hartl RF, Savelsbergh MWP. (2010), Vendor managed inventory for environments with stochastic product usage. *European Journal of Operational Research*. 202(3):686-695.
- Jennings JB. (1973), Blood bank inventory control. *Management Science*. 19(6): 637-645.
- Katsaliaki K, Brailsford SC. (2007), Using simulation to improve the blood supply chain. *Journal of the Operational Research Society*. 58(2):219-227.

- Kendall KE, Lee SM. (1980), Formulating Blood Rotation Policies with Multiple Objectives. *Management Science*. 26(11):1145-1157.
- Koch CG, Li L, Sessler DI, et al. (2008), Duration of Red-Cell Storage and Complications after Cardiac Surgery. *New England Journal of Medicine*. 358:1229-1239.
- Kochan CG, Kulkarni SS, Nowicki DR. (2016), Efficient Inventorying and Distribution of Blood Product During Disasters. *International Series in Operations Research & Management Science*. 185-204.
- Kopach R, Balcioglu B, Carter M. (2008), Tutorial on constructing a red blood cell inventory management system with two demand rates. *European Journal of Operational Research*. 185(3):1051-1059.
- Lang JC. (2010), Blood Bank Inventory Control with Transshipments and Substitutions. *Economics and Mathematical Systems*. 636:205-226.
- Lowalekar H, Ravichandran N. (2014), Blood bank inventory management in India. *OPSEARCH* 51(3):376-399.
- Lowalekar H, Ravichandran N. (2015), Inventory Management in Blood Banks. *International Series in Operations Research & Management Science*. 212:431-464.
- Nahmias S. (2011), Blood Bank Inventory Control. *International Series in Operations Research & Management Science*. 160:65-69.
- Or I, Pierskalla WP. (1979), A transportation location-allocation model for regional blood banking. *AIIE Transactions*. 11(2):86-92.
- Owens W, Tokessy M, Rock G. (2001), Age of blood in inventory at a large tertiary care hospital. *Vox Sanguinis*. 81(1):21-23.
- Pegels CC, Jelmert AE. (1970), An evaluation of blood inventory policies: a markov chain application. *Operations research*. 18(6):1087-1098.
- Perera G, Hyam C, Taylor C, Chapman JF. (2009), Hospital Blood Inventory Practice: the factors affecting stock level and wastage. *Transfusion Medicine*. 19(2):99-104.
- Pierskalla WP. (2004), Supply Chain Management of Blood Banks. *In book: Operations Research and Health Care*. 103-145.
- Pink J, Thomson A, Wylie B. (1994), Inventory management in Sydney Public Hospital Blood Banks. *Transfusion Medicine*. 4(3):237-242.
- Prastacos GP. (1984), Blood Inventory Management: An Overview of Theory and Practice. *Management Science*. 30(7):777-800.
- Rabinowitz M. (1973), Blood bank inventory policies: a computer simulation. *Health Services Research*. 8(4):271-282.
- Rossetti M, Buyurgan N, Pohl E. (2012), Medical Supply Logistics. *Handbook of Healthcare System Scheduling*. 168:245-280.
- Rusman M, Rapi A. (2014), Blood Banks Location Model for Blood Distribution Planning in Makassar City. *Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference*. (http://repository.unhas.ac.id/bitstream/handle/123456789/10946/0234Final_Full_Paper.pdf?sequence=1).
- Sabouri ABA. (2014), Applications of stochastic optimization models in patient screening and blood inventory management. *thesis in Business Administration*. University of British Columbia:49-70.
- Sarhangian V, Abouee-Mehrizi H, Baron O, Berman O, Heddle NM, Barty R. (2015), Reducing the age of transfused red blood cells in hospitals: ordering and allocation policies. *Vox Sanguinis*. 1-23.
- Sirelson V, Brodheim E. (1991), A computer planning model for blood platelet production and distribution. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 35(4):279-291.
- Sivakumar P, Ganesh K, Nachiappan SP, Arunachalam S. (2010), A Heuristic for Heterogeneous Capacitated Pick-up and Delivery Logistics Problems with Time Windows in Agile Manufacturing and the Distribution Supply Chain. *Enterprise Networks and Logistics for Agile Manufacturing*. 311-331.

- Stanger SHW, Yates N, Wilding R, Cotton S. (2012), Blood Inventory Management: Hospital Best Practice. *Transfusion Medicine Reviews*. 26(2):153-163.
- van Dijk N, Haijema R, van der Wal J, Sibinga CS. (2009), Blood platelet production: a novel approach for practical optimization. *Transfusion*. 49(3):411-420.