

Optimisation du stockage des produits sanguins labiles : revue et analyse de la littérature

Optimization of blood products inventory process: review and analysis of the literature

Imane Hssini^{1,2}, Nadine Meskens¹, Fouad Riane³

¹ Louvain Research Institute in Management and Organizations (LouRIM), Université Catholique de Louvain, FUCaM Mons, Belgique, imane.hssini@uclouvain.be, imane.hssini@gmail.com, nadine.meskens@uclouvain-mons.be

² Laboratoire Ingénierie, Mécanique, Management industriel et Innovation (IMMII), Faculté des Sciences et de Techniques, Settat, Maroc

³ Systèmes Complexes et Interactions, Ecole Centrale de Casablanca, Laboratoire Génie Industriel CentraleSupélec, fouad.riane@centrale-casablanca.ma

RÉSUMÉ. Dans ce papier, nous nous intéressons à la gestion des stocks des produits sanguins labiles (PSL). C'est une préoccupation majeure pour les établissements de sang et les professionnels de la santé et ce, malgré les progrès réalisés dans le domaine de la transfusion sanguine. Nous proposons une analyse comparative de la littérature. Nous explicitons tout d'abord les principaux problèmes inhérents au processus de stockage des produits sanguins relevés dans la littérature. Nous proposons ensuite une grille de lecture permettant de classifier et d'analyser ces travaux selon plusieurs critères : la nature des produits (plaquettes, globules rouges et sang), l'objectif de l'étude, les méthodes et les modèles utilisés et finalement les paramètres pris en compte dans les articles étudiés.

ABSTRACT. In this paper, we are interested in inventory management of labile blood products. This is a major concern for blood establishments and health professionals, despite the progress made in the field of blood transfusion. We propose a comparative analysis of the literature. We explain first the main problems inherent in blood products storage process identified in the literature. Then we propose a reading grid to classify and analyze this work according to several criteria: the nature of the products (platelets, red blood cells and whole blood), the objective of the study, the used methods and models and finally the parameters taken into account in the studied papers.

MOTS-CLÉS. Revue de littérature, Produits sanguins, Gestion de stock.

KEYWORDS. Literature Review, Blood products, Inventory management.

1. Introduction

La transfusion sanguine est une discipline qui se situe aux confins de l'hématologie et de l'immunologie. C'est un acte thérapeutique complexe, indispensable pour de nombreuses interventions médicales et chirurgicales. Elle consiste à administrer à un patient, par perfusion intraveineuse, l'un des éléments du sang (produits sanguins) qui lui fait provisoirement défaut. La transfusion sanguine constitue l'une des activités les plus sensibles dans un système de santé, en raison de la nature des produits utilisés et de leur importance vitale pour la vie humaine.

Le don de sang/produits sanguins est un engagement solidaire mais aussi un acte irremplaçable car il n'existe pas à ce jour de produit de substitution. Le don de sang est donc vital pour la transfusion de millions de malades. Selon l'OMS [OMS 17], chaque année, ce sont environ 112,5 millions d'unités de sang qui sont collectées à travers le monde. Près de 50 % des dons sont collectés dans les pays à faible revenu représentant environ 80 % de la population mondiale. La fréquence moyenne des dons de sang est neuf fois plus élevée dans les pays à revenu élevé que dans les pays à faible revenu.

Les besoins en produits sanguins ne cessent d'augmenter. En France, par exemple, la consommation des produits sanguins enregistre une croissance de 1 à 3 % par an. Les besoins en globules rouges se sont ainsi accrus de 30 % entre 2002 et 2012 [CRE 17]. Plusieurs causes peuvent en être l'origine. Citons parmi elles, l'effet combiné de l'allongement de l'espérance de vie et de l'accroissement des chirurgies invasives, surtout chez les patients âgés [ALI 10]. Certes, l'évolution des techniques chirurgicales et surtout les chirurgies micro-invasives a permis de réduire la consommation du sang pour les opérations chirurgicales. Mais le besoin en don de sang ne diminue pas. Ceci est dû à l'absence de thérapies alternatives et au vieillissement de la population qui entraîne une augmentation des pathologies ayant besoin de sang et une hausse du nombre de patients. Ce phénomène touche actuellement la plupart des pays du monde notamment les pays européens où l'espérance de vie est en augmentation. En Belgique par exemple, les statistiques de la population montrent qu'en 1990, la population âgée de plus de 65 ans constituait 15 % de la population totale. En 2018, ce pourcentage passe à 18 %, et selon les projections démographiques, ce pourcentage va croître de manière continue pour atteindre 25 % à l'horizon de 2060 [STA 18]. Dans ce contexte, l'étude menée par Beguin C., *et al* [BEG 07] a montré, sur base de données en provenance de 124 hôpitaux belges, que la proportion de patients recevant des transfusions augmente avec l'âge.

L'organisation des systèmes de transfusion sanguine n'est pas la même au niveau mondial, elle varie selon les spécificités de chaque pays. Les processus de la chaîne logistique du sang (collecte, décomposition, qualification biologique, stockage et distribution) et les conditions de stockage et de distribution sont les mêmes partout dans le monde. Néanmoins, il reste quelques différences organisationnelles d'un pays à un autre.

En effet, aux Etats-Unis, la décomposition du sang, la qualification biologique, le stockage et la distribution des produits sanguins sont des activités décentralisées qui sont assurées par différents organismes : les centres régionaux de la Croix-Rouge, les centres de transfusion communautaires, les banques de sang au niveau des hôpitaux et les banques de sang privées. Un système de dons volontaires coexiste avec un système de dons rémunérés. Bien que la Croix-Rouge collecte environ 40% des dons, elle reste en concurrence permanente avec les autres opérateurs. En Belgique, au niveau de la région francophone, à l'exception de la région de Charleroi et de Mont-Godinne qui sont dotées de deux organismes autonomes de petites capacités qui desservent les hôpitaux de ces régions, les besoins en produits sanguins sont assurés par le service de sang de la Croix-Rouge. Les dons de sang sont exclusivement bénévoles et gratuits. Au Maroc et en France, les systèmes transfusionnels sont centralisés au niveau managérial et décentralisés au niveau opérationnel. Le don de sang au Maroc est un acte volontaire non rémunéré sauf dans certains cas d'urgence où le don de compensation peut avoir lieu. Quant à la France, le seul type de don pratiqué est le don volontaire non rémunéré. La diversification existante entre les systèmes de transfusion sanguine des pays susmentionnés ne les empêche pas de converger vers un même objectif qui est l'optimisation de la logistique des produits sanguins. L'atteinte de cet objectif implique la diminution des risques de pénurie, du taux d'obsolescence et des coûts logistiques.

Le sang et les produits sanguins sont des produits périssables. S'ils ne sont pas utilisés dans le délai correspondant à leur durée de vie, ils deviennent inutilisables, obsolètes. Le sang prélevé appelé « sang total » n'est jamais transfusé tel quel. Il est décomposé en trois composants, les produits sanguins labiles : les globules rouges, les plaquettes et le plasma. Chacun a ses propres spécifications que ce soit au niveau de la conservation, du transport, de l'utilisation ou encore de la durée de vie. Lors de la transfusion, les produits sanguins ne peuvent pas être administrés à n'importe quel receveur. En effet, un receveur doit être transfusé avec le produit sanguin dont il a besoin, issu d'un donneur de même groupe sanguin. Cependant, lorsque ce groupe sanguin n'est pas disponible, un autre groupe sanguin compatible est utilisé. C'est la substitution entre groupes

sanguins. Cette compatibilité entre groupes sanguins ne dépend pas seulement des systèmes ABO et Rhésus (différents groupes sanguins : O⁻, A⁻, B⁻, AB⁻, O⁺, A⁺, B⁺ et AB⁺) mais aussi du type de produits sanguins transfusés (plasma, globules rouges ou plaquettes). En outre, les produits sanguins sont des produits vitaux qui ne peuvent pas être remplacés par d'autres produits. Ce sont des produits dont l'offre et la demande sont imprévisibles. D'où la nécessité d'en maintenir des réserves suffisantes permettant de satisfaire les demandes à n'importe quel moment. Ces contraintes, en plus d'autres, font de la gestion de la chaîne logistique des produits sanguins une problématique complexe à plusieurs variables. Sa maîtrise nécessite l'adoption de méthodes de gestion efficaces permettant de garantir la sécurité et la disponibilité des produits sanguins labiles en quantité optimale et ce à tout moment.

Dans ce papier, nous présentons une revue de la littérature portant sur les problèmes d'optimisation du processus de stockage des produits sanguins que nous considérons comme les plus critiques et 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 labiles. Notre revue se distingue des autres, notamment les plus récentes d'entre elles, par la proposition d'une grille de lecture basée sur différents critères de classification. Nous avons, d'une part, classé et analysé les articles en fonction de certains critères considérés par Mansur *et al* [MAN 18] -à savoir les produits étudiés, les problèmes traités, les objectifs de l'étude, les méthodes de résolution adoptées- auxquels nous avons ajouté les paramètres les plus susceptibles d'impacter sur les politiques de gestion des stocks. D'autre part, nous avons procédé à une analyse de l'évolution des recherches sur le sujet depuis 1970 en distinguant et comparant les recherches les plus récentes, ces 5 dernières années, des plus anciennes.

Les articles de cette revue proviennent de plusieurs sources couvrant plusieurs domaines, à savoir : le génie industriel, la recherche opérationnelle, la gestion des opérations, la logistique et la médecine. La sélection d'articles s'est faite sur la base de plusieurs critères. Nous nous sommes concentrés sur les articles qui ont été publiés dans des bases de données électroniques telles que : ScienceDirect, SpringerLink, JSTOR, Google Scholar et Wiley Online Library. Différents types d'articles, publiés entre 1970 et 2019, ont été pris en considération : les articles de revues internationales, des articles de conférences, des thèses de master et de doctorat et des chapitres d'ouvrage. Les recherches ont été effectuées en utilisant divers mots-clés à savoir : gestion de stock, chaîne logistique, produits sanguins, globules rouges, plaquettes, groupes sanguins.

Les articles retenus sont ceux qui traitent les problèmes d'optimisation de la gestion des stocks des produits sanguins en mettant l'accent sur l'impact de certaines particularités de ces produits sur le processus de stockage. Les articles traitant les problèmes de gestion intégrée comme les problèmes d'optimisation simultanée de stockage et de distribution des produits sanguins ont été exclus, vu leur faible nombre. Sur la base de ces critères, 66 publications ont été identifiées et retenues pour ce travail.

2. Gestion des stocks

La chaîne logistique des produits sanguins a occupé une place prépondérante dans les travaux de divers chercheurs. Certains ([BEL 12], [PIE 04], [EKI 18], [MAN 18]) ont présenté des revues de littérature portant sur différents problèmes de gestion des stocks des produits sanguins. D'autres ([GÖC 18], [SAL 12], [SAM 18], [VAN 09], [ROS 12], ...) se sont focalisés sur l'optimisation des différents processus (collecte, production, stockage, distribution) au sein de cette chaîne notamment le stockage qui est notre axe de recherche dans cette revue de littérature.

Beliën et Forcé [BEL 12] ont étudié une variété d'articles sur les problèmes d'optimisation de la chaîne logistique des produits sanguins publiés entre 1966 et 2010. Ils ont classifié ces articles selon plusieurs critères tels que le type de problème traité, les méthodes de résolution et les approches proposées, les mesures de performance, etc. Pierskalla [PIE 04] s'est focalisé, quant à lui, sur certaines décisions stratégiques prises par les gestionnaires des banques de sang comme 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 intéressé aux 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, etc. Récemment, deux revues de littérature ont été présentées par Ekici *et al.* [EKI 18] et Mansur *et al* [MAN 18]. Ces derniers ont classifié les articles selon plusieurs axes tels que le type de produit étudié, l'objectif de l'étude, la méthode de résolution utilisée. Ils ont aussi proposé des axes de recherche à explorer afin d'enrichir la littérature existante sur le sujet tels que : le développement des modèles adaptatifs de gestion de la chaîne logistique des produits sanguins permettant de faire face aux fluctuations de la demande ainsi que le développement des stratégies d'approvisionnement permettant de palier les pénuries, l'obsolescence et de minimiser les coûts. Ekici *et al.* [EKI 18] ont étudié les problèmes de gestion des stocks du sang et des produits sanguins ainsi que les problèmes liés à la collecte de ces produits à savoir la planification des collectes et l'organisation des tournées de véhicules lors des collectes. Ils ont aussi mis l'accent sur les avantages du don par aphérèse multi-composants¹ comme notamment l'augmentation de la fréquence des dons et l'adaptation des dons en fonction de la demande. Bien que ces deux articles aient été publiés en 2018, nous constatons qu'ils ne sont pas récents. En effet, pour la revue présentée par Ekici *et al.* [EKI 18], les articles cités datent de 2012, alors que pour Mansur *et al* [MAN 18], à l'exception de deux articles publiés en 2017, aucun article récent publié en 2018 n'est étudié. Par ailleurs, les articles sur la gestion des stocks des produits sanguins inclus dans le travail de Mansur *et al* [MAN 18] ne sont pas suffisamment détaillés. Les auteurs classifient ces articles en fonction de l'objectif de l'étude et la méthode utilisée sans décrire les particularités du problème traité ni les résultats obtenus. De plus aucune analyse n'est présentée.

La gestion des stocks des produits sanguins est une problématique spécifique vu les particularités de ces produits. Plusieurs travaux ont traité les différents problèmes de gestion des stocks des produits sanguins tels que la détermination des politiques d'approvisionnement tenant compte de la stochasticité de la demande et/ou de la périsabilité des produits... Les tableaux 2 et 3 récapitulent les recherches effectuées sur le sujet entre 1970 et 2019. Ces travaux sont ventilés selon les produits sanguins considérés, les différents problèmes étudiés, les paramètres caractérisant chaque problème, les objectifs présentés, les approches de résolution adoptées. A l'issue de notre recherche, nous avons constaté que presque la moitié des articles retenus ont été publiés à partir de 2014. Ce constat nous amène à diviser les 66 articles répertoriés en deux catégories : les articles récents (tableau 3) et les articles anciens (tableau 2). Les articles récents englobent les différents articles publiés entre 2014 et 2019 alors que les articles anciens présentent le reste des articles, c'est-à-dire ceux publiés entre 1970 et 2013. Afin d'optimiser la présentation des tableaux de synthèse, nous avons attribué à chaque article un numéro. Nous présentons en note de bas de page de chaque tableau les numéros et leurs correspondances.

Les problèmes étudiés sont définis par certaines particularités des produits sanguins qui impactent le niveau des stocks. Il s'agit du cross-matching, la possibilité de substitution entre groupes sanguins, la stochasticité de la demande et la périsabilité des produits sanguins. Chaque problème est caractérisé par des paramètres ou des données comme la durée de vie des produits sanguins, leur

¹ Le don en aphérèse multi-composants permet simultanément de prélever deux composants du sang à l'aide d'un appareil qui sépare les cellules pendant que les autres composants sont de nouveau administrés au donneur.

âge, la quantité commandée ou la demande représentant le nombre de poches de produit sanguin commandés pendant une période donnée, les paramètres du cross-match (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 aussi la distance entre les établissements de transfusion et les hôpitaux (distance qui sépare un hôpital de l'établissement de transfusion(fournisseurs de produits sanguins)). Notons que nous n'avons pas cité de manière exhaustive tous les paramètres étudiés dans les différents travaux analysés, mais nous avons retenu les plus utilisés et les plus représentatifs des problèmes étudiés. En réalisant leurs travaux, les auteurs ont considéré différents objectifs dont la minimisation de l'obsolescence², de la pénurie³, des coûts (qui peuvent être les coûts de stockage, de production ou de transfert selon l'objectif visé par les auteurs). D'autres objectifs sont moins considérés -ne sont présentés que dans certains travaux multi-objectifs récents-, nous les avons donc regroupés dans la colonne « Autres objectifs ». Les méthodes de résolution adoptées par les auteurs sont soit des méthodes exactes permettant une résolution optimale du problème soit des méthodes heuristiques utilisées afin d'approcher la solution optimale.

Nous avons classé les recherches en fonction des paramètres impactant sur les politiques de gestion des stocks des produits sanguins.

2.1. Impact de la stochasticité de la demande

La stochasticité de la demande est une réalité indissociable de la gestion des stocks des produits sanguins. En effet, la demande en produits sanguins est incertaine. Bien que nous arrivions à planifier environ 50% des transfusions (transfusions régulières, chirurgie programmée), d'autres sont réalisées dans des contextes difficilement prévisibles tels que les périodes des catastrophes naturelles, des épidémies, des attentats.... Par ailleurs, les produits sanguins sont des produits vitaux qui ne peuvent pas être remplacés par d'autres produits. De ce fait, toute demande insatisfaite en l'un de ces produits peut mettre en jeu le sort de vies humaines. Dans ce sens, l'adoption des politiques d'approvisionnement ou d'allocation optimales, que cela soit dans les établissements de transfusion ou dans les hôpitaux, est un élément clé pour une bonne gestion permettant d'éviter à la fois les pénuries et le surstockage.

Dans la littérature, certains chercheurs ont pris le parti de considérer la demande des produits sanguins comme déterministe alors que d'autres ont trouvé plus judicieux de développer des modèles stochastiques qui représentent mieux la réalité. Dans la ligne « nature de la demande » des tableaux 2 et 3, les articles indiqués représentent les travaux où les auteurs cherchent à déterminer des politiques d'approvisionnement ou d'allocation des produits sanguins dans le cas des stocks décentralisés [ATT 17] ou centralisés [DUA 18], tenant compte de la stochasticité de la demande.

En effet, malgré la disponibilité de plusieurs politiques classiques de gestion des stocks, se distinguant par la périodicité de réapprovisionnement de stock et par la quantité à commander, la détermination de la politique la plus adéquate s'avère difficile vu la nature périssable des produits et la stochasticité de la demande. Cela revient à déterminer les dates et les quantités de chaque commande tout en évitant les pénuries et les surstocks qui peuvent avoir lieu à la suite d'une mauvaise prévision de la demande. Tenant compte de cette difficulté, Dillon *et al.* [DIL 17] ont opté pour une politique de type (R,S) pour gérer le stock des globules rouges. Cette politique consiste à vérifier le stock à période fixe « R », et à chaque période, une commande est passée de telle sorte que le stock soit remis à un niveau appelé niveau de recomplètement « S ». Ils se sont intéressés à la détermination des valeurs optimales des deux paramètres R et S. Ils ont proposé un modèle linéaire

^{2,3} Nous entendons par minimisation d'obsolescence, soit la minimisation du coût dû à l'obsolescence ou de la quantité des produits obsolètes. De même pour la minimisation de la pénurie.

mixte en nombres entiers (MILP) en tenant compte de la stochasticité de la demande, de la périssabilité des globules rouges de différents groupes sanguins, de la substitution dans le cas d'une pénurie... et dont l'objectif est la minimisation des coûts de pénurie, d'obsolescence et de stockage. Dans le même cadre, Hajema [HAI 13] a développé une nouvelle politique de réapprovisionnement (s, S, q_{\min}, q_{\max}) permettant d'optimiser le niveau du stock des plaquettes. C'est une extension de la politique classique (R,S) adopté par Dillon *et al.* [DIL 17], en y ajoutant des conditions sur la périodicité des réapprovisionnement de stock et sur la limitation des quantités commandées en définissant une quantité minimale q et une quantité maximale Q . Il a traité ce problème de détermination de politique optimale comme un problème décisionnel de Markov (Markovian decision problem : MDP). Les valeurs des paramètres de la politique sont déterminées en utilisant la simulation et la programmation dynamique et stochastique. Baesler *et al.* [BAE 12] ont analysé différentes politiques de gestion de stock des globules rouges. Ils ont développé un modèle de simulation à évènements discrets incluant les différentes activités de la chaîne logistique des produits sanguins. Le but de cette simulation est la détermination du stock optimal et du stock minimum que doit posséder un centre de transfusion afin de minimiser l'obsolescence et la pénurie des globules rouges. Plus récemment, Heidari-Fathian et Pasandideh [HEI 18] se sont intéressés à l'optimisation de la gestion des stocks des différents produits sanguins en tenant compte de la stochasticité de l'offre et de la demande. Ils ont développé un modèle linéaire mixte en nombres entiers (MILP) multi-objectifs ainsi qu'une heuristique basée sur la relaxation lagrangienne pour résoudre le modèle proposé. En comparant les résultats obtenus par les deux approches, les auteurs ont constaté que pour les instances de petites tailles, il n'y a pas une grande différence entre la solution exacte et la solution approchée. L'écart moyen entre ces deux solutions est de 0,06%. Pour les instances de grandes tailles, seule l'heuristique a été utilisée.

2.2. Impact des paramètres de la politique du cross-matching

Habituellement, les médecins ont le droit de réserver des unités de produits sanguins (poches) pour des interventions chirurgicales programmées. Avant de les réserver, ces unités subissent un ensemble de tests appelés cross-matching ou tests de compatibilité croisée, permettant de confirmer la compatibilité entre le sang du patient et le produit sanguin qui va lui être transfusé. Les unités de sang compatibles sont réservées pour un patient particulier et maintenues dans un stock dit de « réservation ». Elles restent attribuées/ réservées à ce patient après l'intervention, pendant une période dite « durée de réservation », afin qu'elles puissent être utilisées en cas de complication. Elles changent de statut et repassent dans un stock dit « anonyme » si elles restent inutilisées à la fin de la période de réservation. Une fois remises dans ce stock, elles peuvent être réservées pour un autre patient. Le cross-matching est caractérisé par deux paramètres : la durée de réservation et le ratio quantité transfusée/quantité réservée (proportion du produit testé et réellement transfusé). Ces deux paramètres ont un impact significatif sur l'obsolescence du produit sanguin [EKI 18]. L'estimation de leurs valeurs est relative. Elle diffère d'un médecin à l'autre en fonction de l'intervention chirurgicale, de l'état du patient, du niveau des stocks (nombre de produits disponibles en stocks)... Jusqu'à présent, il n'y a aucune règle standard permettant la détermination des valeurs exactes de ces deux paramètres. Les travaux focalisés sur les problèmes liés au cross-matching sont présentés dans la ligne « cross-matching » des tableaux 2 et 3. L'objectif de ces travaux revient à déterminer la quantité des produits réservés et/ou la durée de réservation convenable permettant d'éviter la pénurie et l'obsolescence au niveau des hôpitaux. En effet, souvent, les médecins commandent des quantités de produits sanguins supérieures à leur besoin afin d'éviter toute pénurie pouvant apparaître lors de l'intervention ou après, durant la période de réservation. Une grande proportion des produits sanguins ainsi réservés pour un patient (plus que 50%), n'est finalement pas transfusée. Cela conduit, d'une part, à des situations de gaspillage et génère l'obsolescence des produits [JAG 91] et d'autre part, à des pénuries dans certains cas, vu que les produits réservés ne peuvent être utilisés que par le patient pour lequel ils sont réservés. Parmi

les solutions proposées pour pallier ces deux problèmes -à savoir l'obsolescence et la pénurie-, citons le double cross-matching [DUM 77]. 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, ainsi la probabilité que l'unité de sang soit utilisée au cours de la période de réservation augmente.

La durée de réservation est un autre paramètre qui a un impact significatif sur l'obsolescence du produit sanguin. Dans le but de déterminer son impact sur le stock des globules rouges, Najafi *et al.* [NAJ 17] ont développé un modèle mathématique linéaire bi-objectifs : la minimisation des coûts de stockage, de pénurie et d'obsolescence des globules rouges et la minimisation de l'écart entre la quantité du produit commandé par un hôpital et la quantité livrée réellement. Les résultats des expérimentations du modèle montrent que, d'une part, l'augmentation de la durée de réservation d'un produit augmente la probabilité que ce produit devienne obsolète avant d'être utilisé, et d'autre part, cette augmentation entraîne une diminution des pénuries au niveau de l'hôpital. En effet, si la période de réservation d'un produit est longue, l'hôpital sera obligé d'augmenter son niveau de stock, ce qui veut dire qu'il doit commander plus de produits pour pouvoir assurer ses besoins pendant cette période. D'autres chercheurs comme Perera *et al.* [PER 09], Pierskalla [PIE 04], Katsaliaki et Brailsford [KAT 07] et Gunpinar et Centeno [GUN 15] se sont également intéressés à l'impact de la durée réservation sur l'obsolescence et la pénurie des produits sanguins. Ils ont conclu que la diminution de cette durée permet de baisser l'obsolescence et la pénurie.

2.3. Impact de la périsseabilité

La périsseabilité (représentée par la ligne « périsseabilité » dans les tableaux 2 et 3) est l'une des caractéristiques importantes des produits sanguins à prendre en considération lors de la gestion des stocks de ces produits. En effet, la durée de vie, durée maximale pendant laquelle le produit peut être utilisé (par exemple, 42 jours pour les globules rouges) et l'âge du produit sont deux paramètres qui reflètent la périsseabilité des produits sanguins. Dans la littérature, nous distinguons deux types de travaux. Les premiers cherchent à déterminer la politique optimale d'allocation des produits en fonction de l'âge. Les autres visent à étudier l'impact de la restriction ou de la prolongation de la durée de vie des produits sanguins sur les niveaux des stocks.

2.3.1. Politique d'allocation des produits sanguins

Le choix de la politique d'allocation basée sur l'âge du produit est un facteur impactant le niveau de stock. La politique FIFO (First In First Out), consistant à livrer l'unité disponible la plus ancienne en premier, est la politique la plus utilisée dans les travaux traitant les problèmes de gestion des stocks des produits sanguins ([KOP 08], [TET 08], [KEN 80], [JAG 91], [HAM 19], [ABD 14], [HAI 13], [PIE 04], [DEH 18], [YOU 17], [CHA 77], [COH 79], [FON 09], [SIR 91], [PUR 17]). L'adoption de cette politique permet la réduction du nombre des produits sanguins obsolètes ([ABO 13], [PEG 70], [CHA 77], [ABD 14], [HAI 13]). Cependant, certains chercheurs, tels que Pierskalla [PIE 04] et Katsaliaki et Brailsford [KAT 07] se sont intéressés aux deux politiques FIFO et LIFO (Last In First Out), consistant à livrer en premier la plus jeune unité disponible. Pierskalla [PIE 04] a comparé ces deux politiques utilisées dans le cas du cross-matching (la réservation des unités les plus anciennes en premier vs la réservation des unités les plus jeunes en premier). Deux durées de réservation ont été considérées : une durée de réservation nulle (tous les unités sont transfusées ou remises en stock des produits non réservés « stock anonyme » immédiatement après l'intervention) et une durée de réservation de sept jours où les unités compatibles non transfusées restent dans le stock de réservation pendant une période d'une semaine. Le choix de la politique optimale s'est fait sur la base de deux objectifs : la minimisation de l'obsolescence et la minimisation de la pénurie. Il a conclu que le FIFO remplissait ces objectifs pour n'importe quelle durée de réservation. Katsaliaki et Brailsford [KAT 07] ont combiné, dans leur étude, les deux politiques : la politique FIFO pour

réservoir les globules rouges qui sont utilisées pour la première fois au niveau de l'hôpital -elles n'ont jamais été réservées pour un patient auparavant-, et la politique LIFO pour réserver les globules rouges non utilisées récupérées du stock de réservation. Ils ont conclu que l'adoption à la fois de ces deux politiques permet de réduire l'obsolescence des produits.

D'un autre côté, certains chercheurs ont étudié des problèmes de gestion du stock des produits sanguins dans le cas d'une demande stochastique, dépendant de l'âge du produit ([GUN 15], [LAR 19], [CIV 15] et [ENS 17]). Civelek *et al.* [CIV 15] ont modélisé le problème de gestion du stock des plaquettes sous forme d'un processus décisionnel de Markov. Dans ce travail, la substitution considérée ne s'effectue pas entre les groupes sanguins mais entre deux produits d'âges différents du même groupe sanguin ou de deux groupes compatibles. Dans le cas présent, nous parlons de substitution lorsqu'une demande d'un produit d'un âge précis sera satisfaite par un produit d'un autre âge que celui exigé. Une autre importance de l'âge paraît dans les travaux de Dehghani et Abbasi [DEH 18], Wang et Ma [WAN 15] et Najafi *et al.* [NAJ 17]. Ces auteurs ont mis en place des politiques de transfert des produits sanguins entre hôpital excédentaire en produits sanguins et hôpital en rupture de ces produits. Ces politiques sont basées sur l'âge du produit. En effet, pour Dehghani et Abbasi [DEH 18], le transfert ne peut s'effectuer que si l'hôpital excédentaire a suffisamment de stock et que l'âge des produits à transférer est supérieur à un seuil donné. Sinon, le transfert ne sera pas permis. Cette décision a un double avantage : elle permet de minimiser l'obsolescence chez l'hôpital excédentaire et en même temps, d'éviter la pénurie chez l'hôpital déficitaire. Najafi *et al.* [NAJ 17] ont, quant à eux, permis le transfert des produits entre hôpitaux, dans l'objectif de minimiser l'obsolescence, dans le cas où la date de péremption est proche et que l'âge est supérieur à un certain âge appelé « seuil de transfert ». Les résultats de l'étude montrent qu'en augmentant le seuil de transfert, il y a un risque d'augmenter le nombre de produits obsolètes vu que la probabilité que le produit soit transféré avant d'être obsolète diminue. Wang et Ma [WAN 15] ont élaboré un modèle de simulation pour étudier l'impact de deux politiques de transfert sur les niveaux des stocks lors des périodes de pénurie. Les deux politiques considérées sont : FIFT (first-in-first-transshipment) consistant à transférer les globules rouges les plus anciens en premier et LIFT (last-in-first-transshipment) consistant à transférer les globules rouges les plus jeunes en premier. Les résultats du modèle de simulation ont montré que la politique FIFT permet d'avoir un faible nombre de produits frais « jeunes » chez l'hôpital déficitaire et un nombre un peu plus élevé chez l'hôpital excédentaire. Cela conduit à une quantité de produits obsolètes relativement plus élevée au niveau de l'hôpital déficitaire que celle au niveau de l'hôpital excédentaire. Tandis que sous la politique LIFT, aucun produit obsolète n'apparaît au niveau de l'hôpital déficitaire. Cependant, au niveau de l'hôpital excédentaire, la quantité des produits obsolètes est importante et six fois supérieure à celle produite sous la politique FIFT.

Malgré les avantages que présente la politique FIFO, 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.* [KOC 08], l'utilisation des globules rouges dont l'âge est supérieur à 14 jours peut entraîner un risque de complications postopératoires surtout dans le cas des chirurgies cardiaques. En effet, en plus de l'impact sur les niveaux des stocks, l'âge du produit peut avoir des incidences sur la sécurité du patient. Ensafian et Yaghoubi [ENS 17a] ont considéré dans leurs travaux, portant sur la gestion de stock des plaquettes, que la fraîcheur des plaquettes est l'un des facteurs influant fortement la qualité et la sécurité du traitement, en particulier chez les patients dont le système immunitaire est vulnérable à des contaminations bactériennes. Bien que l'utilisation des produits « frais » ait un impact positif du côté sanitaire, cette réduction peut affecter les niveaux des stocks de façon négative.

2.3.2. Durée de vie des produits sanguins

La réduction de la durée de vie des produits sanguins est un axe de recherche étudié, notamment, par Sarhangian *et al.* [SAR 15], Grasas *et al.* [GRA 15], Hajjema [HAI 13], Abouee-Mehrizi *et al.* [ABO 13], Fontaine *et al.* [FON 10], Hardy [HAR 15], Cohen *et al.* [COH 83]. Un modèle de simulation a été développé par [BLA 13] afin d'étudier l'impact de la réduction de la durée de vie sur les niveaux des stocks des globules rouges utilisés au niveau d'un centre de transfusion régional. Cette réduction consiste à considérer que la durée de vie des globules rouges est de 14 jours au lieu de 42 jours. L'étude a montré que cette réduction est à l'origine d'une augmentation des taux de pénurie et d'obsolescence dans les centres de transfusion et les hôpitaux quelle que soit leur taille (consommation en produits sanguins). Toutefois, la mise en place de politiques efficaces de gestion des stocks est nécessaire pour réduire ces taux. En revanche, en 2017, le service de sang canadien a étudié la possibilité d'étendre la durée de vie des plaquettes de 5 jours à 7 jours à condition de mettre en place un ensemble de tests de détection bactérienne [SOC 17]. Bien que ces tests augmentent le coût de production, le service de sang voit qu'une partie de ce coût peut être récupérée en diminuant le taux d'obsolescence, et par conséquence, le coût global associé. Dans ce contexte, Blake [BLA 17] a utilisé un modèle de simulation afin d'étudier l'impact de la décision prise par le service de sang canadien sur l'obsolescence. En augmentant la durée de vie de 5 à 7 jours, plusieurs tests ont été effectués dont les résultats mettent en évidence une relation étroite entre cette augmentation et la diminution de la durée de vie. Chaque jour de prolongation de la durée de vie implique une diminution de l'obsolescence. De plus, la diminution est plus importante au niveau des hôpitaux qu'au niveau du centre de transfusion.

2.4. Impact de la possibilité de substitution entre groupes sanguins

La multiplicité des groupes sanguins est une autre particularité des produits labiles à prendre en considération lors de la gestion des stocks [DUA 14]. Pendant les pénuries, les gestionnaires des centres de transfusion déterminent les groupes sanguins les plus sollicités et mettent en place des mesures afin de satisfaire les demandes des produits de ces groupes sanguins. Parmi ces mesures, citons le maintien de réserves suffisantes en produits sanguins des groupes dits universels (O dans le cas des globules rouges). Les recherches en gestion des stocks des produits sanguins prenant en compte la possibilité de substitution entre groupes sanguins sont considérablement limitées. Les travaux, indiqués dans la ligne « substitution » des tableaux 2 et 3, s'intéressent à la détermination des politiques optimales de gestion du stock en tenant compte de la demande de chaque produit sanguin et pour chaque groupe sanguin et en considérant la possibilité de substitution en cas de besoin.

Dans cette section, nous avons donné un aperçu sur les divers problèmes et approches de résolution présentés dans les articles traitant la gestion des stocks des produits sanguins. Nous allons maintenant analyser l'évolution des recherches menées sur le sujet depuis 1970. Dans un premier temps, nous allons présenter un tableau croisé général avec les effectifs de références couvrant la période de 1970 à 2019. Ensuite, nous divisons ce tableau en deux tableaux de synthèse résumant les articles retenus par période 1970-2013 et 2014-2019.

	Paramètres							Objectifs			Méthodes de résolution utilisées							
	Durée de vie/ Age du produit	Délai d'approvisionnement	Distance .établ. transf /hôpital	Qte transf./ qte réserv.	Quantité commandée	Groupe sanguin	Temps de réservation	Act. Mens. de transf.	Min. la pénurie	Min. obsolescence	Min coûts	Autres objectifs	Programmation mathématique	(méta) Heuristique	Simulation	Chaine de Markov	Régression	File d'attente
Globules rouges	41	7	4	5	34	26	8	1	31	39	12	5	16	9	23	3	3	5
Plaquettes	23	5	1	2	19	6	3		19	23	10	3	12	4	7	4	1	1
Plasma	4	2			5	1			5	4	2	1	9	1	1	1		
Sang	5			3	5	2	1	1	4	5			2	1	3		1	
Cross-matching	11	1	1	7	6	7	8	1	5	11		1	3	3	6		1	
Substitution	11	1		3	10	13	3		9	11	6		5	6	7	1		
Périssabilité	42	5	2	7	30	24	7	1	24	35	9	2	13	8	23	6	2	4
Nature de la demande	23	5	2	2	22	8	1	1	22	23	11	6	15	3	9	3	3	2

Tableau 1. Tableau croisé des effectifs de références couvrant la période de 1970 à 2019

À la lecture du tableau 1, nous constatons que 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. L'importance accordée à la gestion des globules rouges peut être justifiée par la forte demande pour ce produit due à la diversité de leurs utilisations. Aussi, nous constatons que l'étude des problèmes liés à la périssabilité des produits sanguins attire plus l'attention des chercheurs que les autres problèmes. Plusieurs paramètres, caractérisant chacun de ces problèmes, sont pris en compte dans chaque article. Cependant, la durée de vie et l'âge des produits sont présents dans presque tous les travaux. Ceci est dû au fait que les produits concernés sont périssables et donc, toute étude relative à la gestion des produits sanguins devrait tenir compte de ces paramètres. Les objectifs les plus visés sont la minimisation des obsolescences et des pénuries. En effet, l'un des challenges auxquels font face les gestionnaires des banques de sang, de façon quotidienne, est l'assurance d'un équilibre entre l'approvisionnement en sang et les besoins en produits sanguins. 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. La résolution des problèmes étudiés s'est basée essentiellement sur la programmation mathématique et la simulation. Dans ce qui suit, nous allons préciser dans les tableaux 2 et 3 les caractéristiques de chaque étude.

	Paramètres							Objectifs			Méthodes de résolution utilisées							
	Durée de vie/ Age du produit	Délai d'approvisionnement	Distance .établ. transf /hôpital	Qte transf./ qte réserv.	Quantité commandée	Groupe sanguin	Temps de réservation	Activité mensuelle de transfusion	Min. la pénurie	Min. obsolescence	Min coûts	Autres objectifs	Programmation mathématique	(méta) Heuristique	Simulation	Chaine de Markov	Régression	File d'attente
Globules rouges	1*,3,4,5,6 8,9,14,15 16,17,18 22,23,25 26,29,30 31,32	8, 26	8, 22	3,9,15	6,9, 15 17, 18 25, 26 29, 30 31, 32	3,4,5,6 9,14,15 16, 17 18, 25 26, 29 32,	3,9,15 16,17 23	22	1,4,8 14,15 16,17 18,29 30, 32	1,3,4,5,6 8,9,14,15 16,17,18 22,25,26 30,31,32	8, 26		8	3,4,6 9,17 26	3,6,9,15 16, 17 18, 25 26 29 32	4,5	9, 22	1,18,29 30, 31
Plaquettes	12,17,19 20,21,24 27,28,33 34	28, 34		13	12, 17 19, 20 27, 33 34	17, 24	13,17		12, 17 19, 24 27, 28 33, 34	12,13,17 19,20,21 24,27,28 33,34	19, 27		21, 24 27, 34	21, 33	12, 19 21, 24 34	19, 27	12	28
Plasma																		
Sang	2,7,10,11			2,7,11	2,7,10	10	7	10	2,11	2,7,10,11			10		2,11		7	
Cross-matching	3,6,7,10,11 15,16,17 23			3,7,11 13,15	6,7,10 15,16	3,6,10 15, 16 17	3,13,15 16,17 23	10	15, 16 17	3,6,7,11 13,15,16 17, 23			10	3,6,17	3,6,11 15, 16 17		7	
Substitution	3,6,16,17 26			3	6,16,26	3,6,16 17, 26	3,16,17		16, 17	3,6,16,17 26	26			3,6,17 26	3,6,16 17, 26			
Périssabilité	1,3,5,6,7,8 9,10,11,14 15,16,17 18,19,20 24,25,29 31,32,33 34	8, 34	8	3,7,9,11 15	6,7,9,10 15, 16 18, 20 25, 29 31, 32 34	3,5,6,9 10, 14 15, 16 18, 17 24, 25 29, 32	3,9,15 16, 17	10	1,8,14 15, 16 17, 19 24, 29 32, 34	1,3,5,6,7 8,9,10 11,14,15 16,17,20 24,25,31 32, 34	8		8,10 24,34	3,6,9 17,33	3,6,9,11 15,16 17,18 19,24 25, 29 32, 34	5,19 34	7,9	1,18,29 31
Nature de la demande	2,5,12,15 21,22, 28 30, 33,34	28, 34	22	2,15	2,12,15 30,33, 34	5,15	15	22	2,12,15 28,30 33, 34	2, 5,12 15,21,28 30,33,34			21, 34	21, 33	2,12,15 21,34	5, 34	12,22	28, 30

Tableau 2. Synthèse des articles traitant de la gestion des stocks des produits sanguins publiés entre 1970 et 2013

* 1 : [PEG 70], 2 : [JEN 73], 3 : [RAB 73], 4 : [BRO 75], 5 : [CHA 77], 6 : [DUM 77], 7 : [COH 79], 8 : [KEN 80], 9 : [COH 83], 10 : [SAP 89], 11 : [JAG 91], 12 : [SIR 91], 13 : [PIN 94], 14 : [OWE 01], 15 : [PIE 04], 16 : [KAT 07], 17 : [KAT 08], 18 : [KOP 08], 19 : [TET 08], 20 : [FON 09], 21 : [HAI 09], 22 : [HED 09], 23 : [PER 09], 24 : [VAN 09], 25 : [FON 10], 26 : [LAN 10], 27 : [HAI 11], 28 : [ZHO 11], 29 : [ATK 12], 30 : [BAE 12], 31 : [ABO 13], 32 : [BLA 13], 33 : [DUA 13], 34 : [HAI 13].

	Paramètres							Objectifs			Méthodes de résolution utilisées							
	Durée de vie/ Age du produit	Délai d'approvisionnement	Distance .établ. transf /hôpital	Qte transf./ qte réserv.	Quantité commandée	Groupe sanguin	Temps de réservation	Act. Mens. de transf.	Min. la pénurie	Min. obsolescence	Min coûts	Autres objectifs	Programmation mathématique (méta) Heuristique	Simulation	Chaine de Markov	Régression	File d'attente	
Globules rouges	3*,4,5,6,8,9 10,11,12,13 14,15,17,20 21,23,24,25 26,28,29	15,17,20 24,28	2,9	9,20	2,3,4,5,6,8 9,10,11,12 13,14,15,17 21,23,24,25 26,27,28,29 31	2,3,4,6,8 12,13,17 20,27,29 31	9,20		6,8,9,10,11 12,14,15 17,20,21 22,23,24 25,26,27 28,29,31	2,3,4,5,8,9 10,11,12 13,15,17 20,21,22 23,24,25 26,27,28	15,17,21 22,24,25 26,27,28 29	15,20 23,25 26	5,9,15,17 20,21,22 23,25,26 27,28,29 31	3,24 5,6,8 10,11 12,13 14,22	2,3,4 5,6,8 10,11 12,13 14,22	5	10	
Plaquettes	1,7,9,12,15 16,18,19,22 26,28,30,32	15,28,32	9	9	7,9,12,15 16,18,19,22 26,28 30,32	1,16,18 22	9		1,7,9,12,15 18,19,26 28,30,32	1,7,9,12 15,16,18 18,19,26 28,30	1,7,15 18,19,26 28,30	15,19 26	1,9,15,19 26,28,30 32	7,32	12,16	7		
Plasma	12,15,26,28	15,28			12,15,26,28 31	31			12,15,26 28,31	12,15,26 28	26,28	26	15,18,26 28,31	31	12	18		
Sang	12				12,31	31			12,31	12			31	31	12			
Cross-matching	9,20	20	9	9,20	9	20	9,20		9,20	9,20		20	9,20					
Substitution	1,3,8,17,18 29	17			3,8,17,18 27,29,31	1,3,8,17 18,27,29 31			1,8,17,18 27,29,31	1,3,8,17 18,29	1,17,18 27,29		1,17,18 29,31	3,31	3,8	18		
Périssabilité	1,3,4,5,6,7 8,9,11,13 14,16,17,18 19,20,21,24 30	17,20,24	9	9,20	3,4,5,6,7,8 9,11,13,14 16,17,18,19 21,24,30	1,3,4,6,8 13,16,17 18,20	9,20		1,6,7,8,9 11,17,18 19,20,21 24,30	1,3,4,5,7,8 9,11,13,16 17,18,19 20,21,24	1,7,17 18,19,21 24,30	19,20	1,5,9,17 18,19,20 21,30	3,7 24	3,4,5 6,8 11,13 14,16	5,7 18		
Nature de la demande	10,12,15,17 18,19,21,22 23,26,28,30 32	17,28,32	2		2,10,12,15 17,18,19,21 22,23,25,26 27,28,30,32	2,15,17 18,22,27			10,12,15 17,18,19 21,22,23 25,26,27 28,30,32	2,10,12 15,17,18 19,21,22 23,25,26 28,30	15,17,18 19,21,22 25,26,27 28,30	15,19 23,25 26	15,17,18 19,21,22 23,25,26 27,28,30 32	2,10 12,22	18	10		

Tableau 3. Synthèse des articles traitant de la gestion des stocks des produits sanguins publiés entre 2014 et 2019

* 1 : [ABD 14], 2 : [BLA 14], 3 : [DUA 14], 4 : [DUM 14], 5 : [SAB 14], 6 : [SIM 14], 7 : [CIV 15], 8 : [GRA 15], 9 : [GUN 15], 10 : [GUÖ 15], 11 : [HAR 15], 12 : [LOW 15], 13 : [SAR 15], 14 : [WAN 15], 15 : [ATT 17], 16 : [BLA 17], 17 : [DIL 17], 18 : [ENS 17], 19 : [ENS 17a], 20 : [NAJ 17], 21 : [PUR 17], 22 : [RAM 17], 23 : [YOU 17], 24 : [DEH 18], 25 : [DUA 18], 26 : [HEI 18], 27 : [OSO 18], 28 : [SAM 18], 29 : [HAM 19], 30 : [LAR 19], 31 : [MA 19], 32 : [RAJ 19].

3. Analyse de l'évolution des recherches sur la gestion des stocks des produits sanguins

Le premier constat soulevé au cours de cette revue de littérature est la diversité des recherches sur les problèmes de gestion des stocks des produits sanguins. L'intérêt porté par la communauté scientifique aux problématiques liées à la gestion des stocks des produits sanguins n'est pas récent et il continue à grandir. En explorant l'ensemble de la littérature, il est intéressant d'observer l'évolution remarquable du nombre des travaux au cours de la dernière décennie et surtout de ces cinq dernières années (figure 1). En effet, jusqu'à 2007, les recherches sur la logistique des produits sanguins et notamment sur la gestion des stocks de ces produits étaient peu nombreuses. Cela peut s'expliquer d'une part, par le manque d'intérêt des hôpitaux et des centres de transfusion, par le passé, pour les questions logistiques, et d'autre part, des prédominances des questions médicales notamment en hématologie sur les questions de gestion.

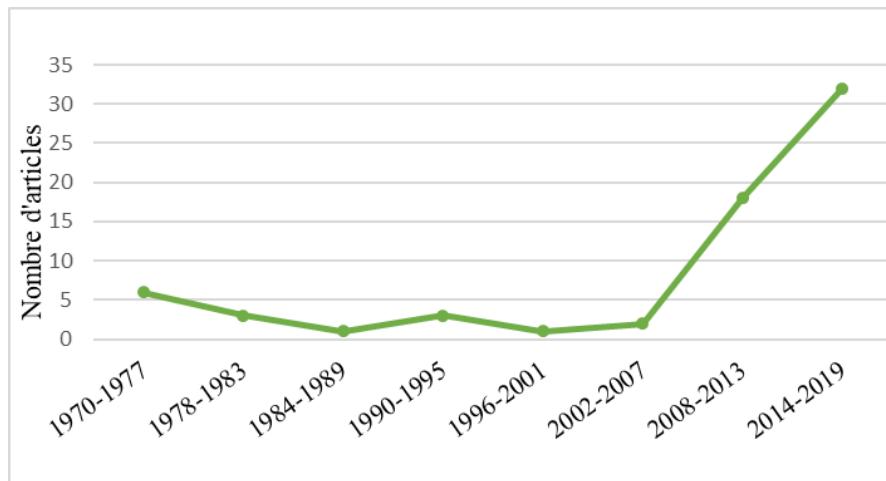


Figure 1. Évolution du nombre de recherches sur les problèmes de gestion des stocks des produits sanguins

Dans le reste de ce papier, nous allons présenter une analyse ainsi qu'une comparaison entre les publications récentes et les anciennes en se basant sur plusieurs critères.

3.1. Types et nombre des produits sanguins pris en compte

Excepté quelques articles traitant les problèmes de gestion des stocks de plusieurs produits sanguins simultanément, nous constatons que 55% d'articles anciens et 57% d'articles récents sont consacrés uniquement à la gestion des globules rouges (figure 2). Les plaquettes sont le deuxième produit présent dans les articles étudiés dans cette revue. Les plaquettes sont les produits sanguins les plus critiques vu qu'elles ont une durée de vie qui ne dépasse pas 7 jours, ce qui conduit à une complexité accrue dans le traitement des problèmes de gestion de ce produit. L'absence d'articles traitant uniquement les problèmes de stockage du plasma peut être justifié 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. En effet, seulement six articles récents parmi les 66 ont traité les problèmes de gestion des stocks de plasma. Dans ces articles, les auteurs se sont intéressés à la gestion du stock de plasma en plus des stocks des autres produits sanguins. Aucun article ancien n'a traité ce type de problème.

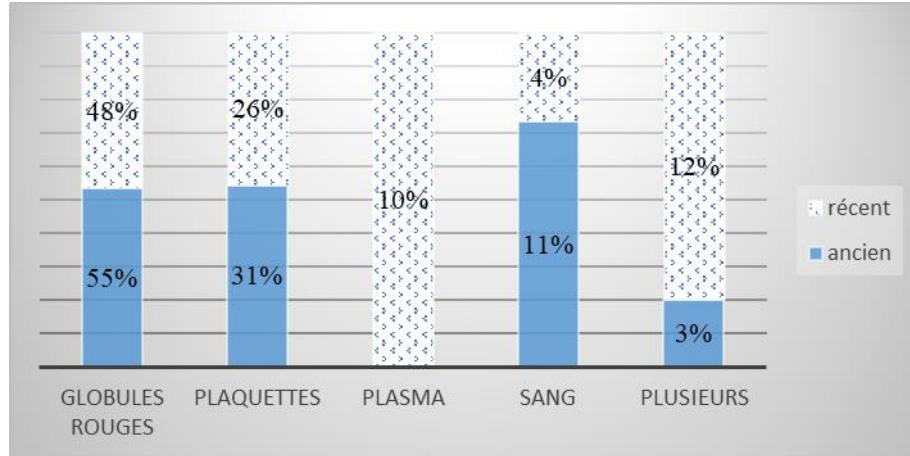


Figure 2. Répartition des articles en fonction des produits étudiés

Bien qu'il y ait une dominance des globules rouges dans les articles récents (2014-2019), le nombre d'articles traitant les problèmes de gestion des stocks de plusieurs produits a augmenté. Dans ces publications les chercheurs présentent des solutions pour résoudre des problèmes de gestion de stocks tenant compte des particularités de plusieurs produits sanguins simultanément.

3.2. Problème étudié et paramètres pris en compte

Les particularités des produits sanguins posent beaucoup de problèmes pour les gestionnaires des stocks. Nous avons identifié quatre types de problèmes, chacun lié à une particularité (figure 3).

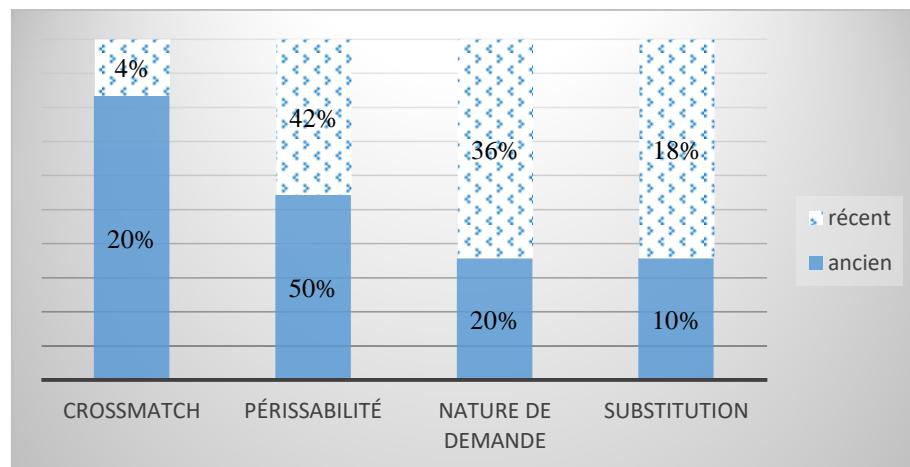


Figure 3. Répartition des articles en fonction de problème traité

L'étude de l'impact de la périssabilité a fait l'objet de la majorité des articles s'intéressant à la gestion des stocks de produits sanguins (44 articles sur 66). Dans les articles anciens, plusieurs chercheurs se sont focalisés sur la détermination des politiques de gestion des stocks des produits sanguins en tenant compte de la nature stochastique de la demande et la détermination de l'impact des paramètres du cross-matching. Dans une plus faible proportion, nous trouvons des recherches sur les problèmes liés aux particularités spécifiques des produits sanguins à savoir : la substitution entre groupes sanguins. Quant aux articles récents, les chercheurs se sont penchés plus sur des problèmes dus à la nature de la demande en plus de ceux liés à la substitution au détriment des problèmes liés au cross-matching.

Il convient de noter que dans presqu'un tiers des travaux, plus précisément dans 11 articles anciens et 12 articles récents (voir tableaux 2 et 3), les auteurs ne se contentent pas de traiter un seul problème.

Ils combinent plusieurs problèmes en une seule étude afin de pouvoir cerner au maximum les différentes difficultés rencontrées dans la gestion des stocks des produits sanguins.

Chaque modèle mathématique présenté dans cette revue est caractérisé par un objectif à atteindre, des variables à déterminer, des contraintes à respecter et aussi des paramètres. Pour chaque paramètre indiqué dans les tableaux 2 et 3, nous avons calculé le taux de présence dans les articles anciens et récents. Ainsi, nous constatons que l'utilisation des paramètres « quantité commandé » (24% d'articles anciens vs 37% d'articles récents) et « distance entre établissement de transfusion et hôpital » (2% d'articles anciens vs 4% d'articles récents) a progressé considérablement. Les paramètres « groupes sanguins » (18% d'articles anciens vs 19% d'articles récents) et « délai d'approvisionnement » (5% d'articles anciens vs 6% d'articles récents) ont gardé presque les mêmes taux d'utilisation. L'utilisation du paramètre « durée de vie ou âge de produit » (38% d'articles anciens vs 32% d'articles récents) a connu une légère diminution. Tandis que le paramètre « activité mensuelle de transfusion » a disparu des articles récents.

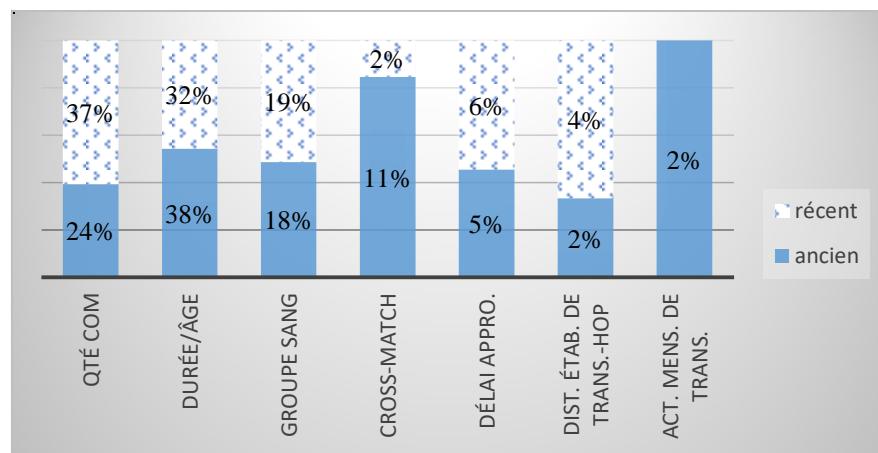


Figure 4. Répartition des articles en fonction des paramètres utilisés

3.3. Objectif de l'étude

Plus de 70% de la littérature existante (ancienne ou récente) propose une gestion efficace des stocks en minimisant les taux de pénurie et/ou d'obsolescence (figure 5). Cependant, ces deux objectifs sont moins visés dans les articles récents par rapport aux articles anciens. Ceci peut être justifié par l'intégration de nouveaux objectifs dans les articles récents. Parmi ces objectifs, citons ceux liés aux aspects économiques à savoir : la minimisation des coûts tels que le coût de stockage, de production ou de transfert. En effet, les auteurs de 20% d'articles récents visent la minimisation des coûts alors que cet objectif n'est considéré que dans seulement 7% d'articles anciens.

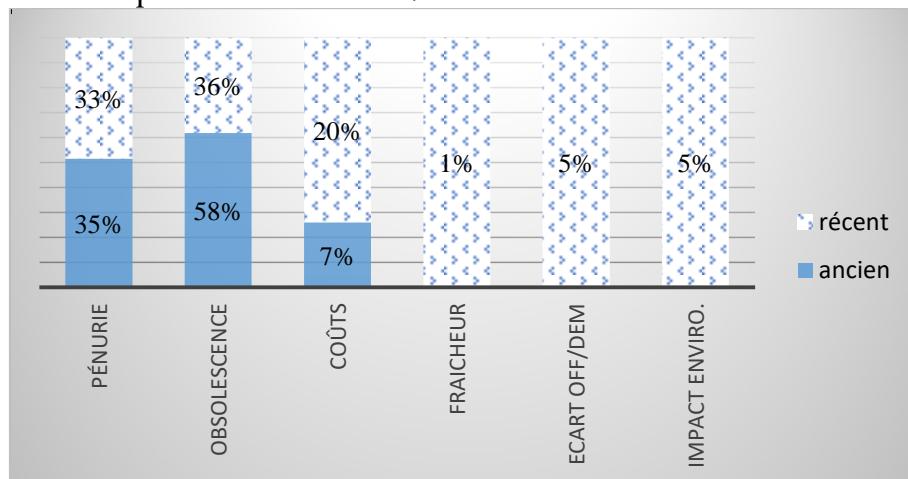


Figure 5. Répartition des articles en fonction des objectifs visés

Par ailleurs, nous constatons qu'anciennement, les chercheurs se focalisaient sur l'optimisation d'un seul objectif. Par contre, ces trois dernières années ont vu apparaître un intérêt pour les problèmes multi-objectifs dans les modèles de gestion des stocks des produits sanguins. En effet, à l'exception d'un article ancien ([KEN 80]), un peu plus d'un quart des articles récents ([ABD 14], [NAJ 17], [DUA 18], [ATT 17], [HEI 18], [SAM 18], [ENS 17a], [LAR 19], et [YOU 17]) traitent des problèmes multi-objectifs. Dans ces recherches, en plus de la minimisation de l'obsolescence et de la pénurie, les auteurs s'intéressent à la minimisation de l'écart entre la demande et l'offre ([ATT 17], [NAJ 17], [DUA 18] et [YOU 17]) - autrement dit la minimisation de la différence entre la quantité commandée et celle reçue réellement -, la maximisation de la fraîcheur des produits ([ENS 17a]). Ceci revient à livrer des produits dont la date de péremption est la plus lointaine possible c'est-à-dire des produits frais. Quant à la prise en compte de l'aspect environnemental, ce n'est qu'en 2018 que les deux chercheurs Heidari-Fathian et Pasandideh [HEI 18] s'en sont préoccupés. Ils visent la minimisation des impacts environnementaux liés à l'activité du transport notamment les émissions de gaz à effet de serre.

3.4. Approches et méthodes de résolution

Comme nous le constatons dans la figure 6, la simulation est parmi les méthodes les plus répandues dans le traitement des problèmes de gestion des produits sanguins. En effet, les solutions présentées dans 34 articles parmi les 66 étudiés, sont obtenues par des modèles de simulation. Cela confirme la complexité des problèmes étudiés vu que la simulation est considérée comme un dernier recours, lorsque la modélisation analytique, en général, devient trop difficile [LOW 14]. Le principal inconvénient de cette méthode est qu'elle ne garantit pas l'optimalité de la solution à l'instar des (méta)heuristiques. D'autres méthodes telles que la file d'attente et les chaînes de Markov ont été utilisées pour prévoir 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 basées sur l'âge. 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 ([ATK 12], [ABO 13]). Dans ces types de modèles, les réapprovisionnements d'articles correspondent aux arrivées dans la file d'attente, les demandes correspondent au processus de service et le comportement du client (patience ou impatience) correspond à la durée de vie du produit. 13% d'articles anciens englobent différents programmes mathématiques. Les programmes plus utilisés sont les programmes dynamiques ([HAI 09], [ZHO 11], [VAN 09], [HAI 11]).

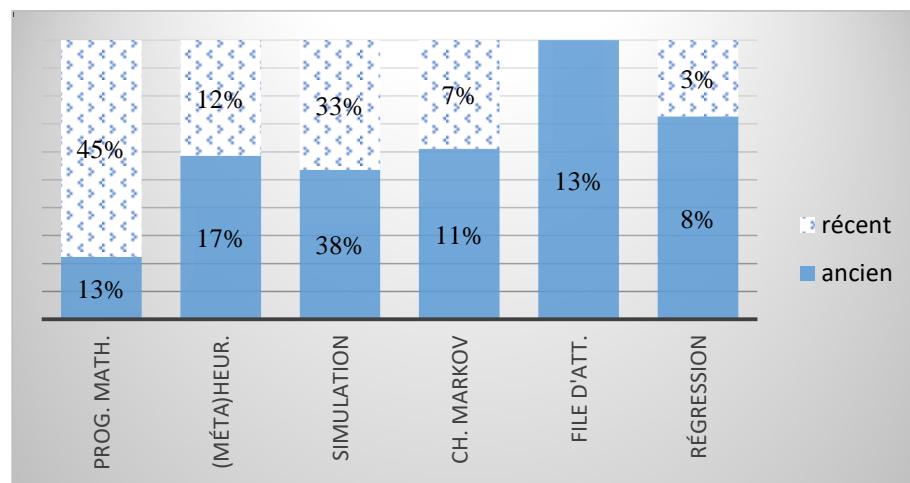


Figure 6. Répartition des articles en fonction de la méthode de résolution adoptée

Dans les articles récents, nous constatons qu'il y a un recul dans l'utilisation de certaines méthodes adoptées dans les articles anciens comme : la régression linéaire qui n'est utilisée que dans un seul article récent pour prévoir l'offre et la demande des produits sanguins [GUÖ 15], les chaînes de Markov, les (méta)heuristiques et la simulation (figure 6). Nous constatons aussi que dans les articles récents, d'une part, il y a une absence totale de la méthode « file d'attente » et d'autre part, les auteurs ont opté plus pour des méthodes de résolution basées sur la programmation mathématique à savoir la programmation linéaire en nombres entiers ([NAJ 17], [OSO 18]) ou mixtes ([ABD 14], [DIL 17], [RAM 17], [HEI 18]), la programmation mixte ([GUN 15], [ENS 17], [ENS 17a], [DUA 18], [YOU 17], [SAM 18], [HAM 19], [MA 19]), la programmation stochastique ([GUN 15], [ENS 17], [ENS 17a], [DIL 17], [OSO 18], [SAM 18], [HAM 19], [LAR 19], [RAJ 19]), les méthodes multi-objectifs comme le goal programming ([ATT 17], [ENS 17], [ENS 17a], [YOU 17]). Nous constatons donc que les méthodes de simulation et les (méta)heuristiques sont moins utilisées qu'auparavant et qu'il y a un retour vers les méthodes exactes. Cela est sans doute dû à l'évolution des capacités de résolution des ordinateurs.

4. Conclusion

Dans ce papier, nous avons présenté un état de l'art sur les problèmes de gestion de produits sanguins. Au travers de cette revue de littérature, nous constatons que, d'une manière générale, les modèles de gestion des stocks multi-produits n'ont pas reçu beaucoup d'intérêt dans la littérature concernant la gestion des stocks des produits sanguins. La complexité de ces modèles est renforcée par la nature des produits sanguins (périsposables, hétérogènes,...) qui imposent beaucoup de contraintes à respecter. Ces modèles multi-produits ont reçu peu d'attention, alors qu'ils reflètent la situation vécue quotidiennement par les gestionnaires des banques de sang qui essayent de gérer simultanément et de façon optimale différents stocks de différents produits sanguins. Ainsi, le développement et l'analyse de modèles de gestion des stocks multi-produits dans le cas de la gestion des produits sanguins est fortement recommandé.

L'analyse de la littérature montre également que les paramètres liés à la nature périsable des produits (durée de vie et l'âge de produits) sont très souvent considérés. Nous pouvons même constater que les problèmes dus au caractère périsable suscitent l'intérêt des chercheurs plus que les autres problèmes. D'un autre côté, dans le cas de la gestion des stocks de ces produits, la minimisation d'obsolescence et de pénurie sont les objectifs les plus visés dans la littérature. En effet, ces deux objectifs restent les plus importants dans le souci d'optimiser les coûts associés à la pénurie et à l'obsolescence et dans le but d'assurer la disponibilité de ces produits vitaux. Néanmoins, le développement des modèles multi-objectifs est une piste permettant d'enrichir la littérature sur les problèmes de gestion des stocks des produits sanguins. En effet, les problèmes de gestion des stocks des produits sanguins multi-objectifs sont encore peu nombreux. Pourtant, ils représentent un moyen par lequel, en plus des objectifs classiques (la minimisation de l'obsolescence et de la pénurie) d'autres fonctions objectifs pourraient être envisagées telles que la minimisation des impacts environnementaux. Concernant les méthodes de résolution, nous constatons que la résolution des problèmes étudiés est basée essentiellement sur des méthodes approchées avec une dominance des modèles de simulation.

Par ailleurs, nous remarquons que le transfert de produits entre sites et l'utilisation des produits de substitution, encore peu pris en considération, pourraient être des solutions à envisager pour faire face aux pénuries. Dans ce sens, outre l'adoption de ces deux solutions, il serait aussi intéressant de s'inspirer des travaux sur la gestion des stocks des produits périsposables et particulièrement sur la gestion partagée des stocks -où le client et le fournisseur s'occupent conjointement de la gestion des stocks du client- pour développer des modèles tenant compte des particularités des produits sanguins et permettant à la fois de minimiser les coûts et les pénuries.

Bibliographie

1. [ABD 14] Abdulwahab, U., M. I. M. Wahab, « Approximate dynamic programming modeling for a typical blood platelet bank », *Computers & Industrial Engineering*, 78, 259-270, 2014.
2. [ABO 13] Abouee-Mehrizi, H., O. Baron, O. Berman, V. Sarhangian, « Allocation Policies in Blood Transfusion », *Working Paper*, 1-41, 2013.
3. [ALI 10] Ali A., Auvinen MK., Rautonen J., « The aging population poses a global challenge for blood services », *Transfusion*, 50, 584-588, 2010.
4. [ATK 12] Atkinson, M. P., M. J. Fontaine, L. T. Goodnough, L. M. Wein., « A novel allocation strategy for blood transfusions: investigating the tradeoff between the age and availability of transfused blood », *Transfusion*, 52, 108-117, 2012.
5. [ATT 17] yousefi nejad Attari, m., S. H. R. pasandide, a. Agaie, S. T. Akhavan Niaki. « Presenting a stochastic multi choice goal programming model for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals », *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10, 81-96, 2017.
6. [BAE 12] Baesler, F., M. Nemeth, A. Bastías, C. Martínez., « Blood center inventory analysis using discrete simulation », Proceedings of the Winter Simulation Conference, Berlin, Germany, December 2012.
7. [BEG 07] Beguin C., Closon MC., Vandekerckhove P., Baele P., « Concentration of transfusion resources on a few pathologies and a few patients: analysis of the comprehensive in-hospital patient database» *Transfusion*, 47, 217-227, 2007.
8. [BEL 12] Beliën, J., H. Forcé., « Supply chain management of blood products: A literature review ». *European Journal of Operational Research*, 217, 1-16, 2012.
9. [BLA 17] Blake, J. T., « Determining the inventory impact of extended-shelf-life platelets with a network simulation model », *Transfusion*, 57, 3001–3008, 2017.
10. [BLA 14] Blake, J. T., M. Hardy. « A generic modelling framework to evaluate network blood management policies: The Canadian Blood Services experience », *Operations Research for Health Care*, 3, 116-128, 2014.
11. [BLA 13] Blake, J. T., M. Hardy, G. Delage, G. Myhal, Déjà-vu all over again: using simulation to evaluate the impact of shorter shelf life for red blood cells at Héma-Québec », *Transfusion*, 53, 1544-1558, 2013.
12. [BRO 75] Brodheim, E., C. Derman, G. Prastacos., « On the Evaluation of a Class of Inventory Policies for Perishable Products Such as Blood », *Management Science*, 21, 1320-1325, 1975.
13. [CHA 77] Chazan, D., S. Gal., « A Markovian Model for a Perishable Product Inventory », *Management Science*, 23, 512-521, 1977.
14. [CIV 15] Civelek, I., I. Karaesmen, A. Scheller-Wolf., « Blood platelet inventory management with protection levels », *European Journal of Operational Research*, 243, 826-838, 2015.
15. [COH 79] Cohen, M. A., W. P. Pierskalla., « Target Inventory Levels for a Hospital Blood Bank or a Decentralized Regional Blood Banking System », *Transfusion*, 19, 444-454, 1979.
16. [COH 83] Cohen, M. A., W. P. Pierskalla, R. J. Sassetti., « The impact of adenine and inventory utilization decisions on blood inventory management », *Transfusion*, 23, 54-58, 1983.
17. [CRE 17] Creton, C., « Les besoins de sang sont importants ». [En ligne] 30 Mai 2017.2017; Disponible sur : <https://www.sudouest.fr/2017/05/30/les-besoins-de-sang-sont-importants-3488668-3829.php>.
18. [DEH 18] Dehghani, M., B. Abbasi., « An age-based lateral-transshipment policy for perishable items », *International Journal of Production Economics*, 198, 93-103, 2018.
19. [DIL 17] Dillon, M., F. Oliveira, B. Abbasi., « A two-stage stochastic programming model for inventory management in the blood supply chain », *International Journal of Production Economics*, 187, 27-41, 2017.
20. [DUA 14] Duan, Q., T. W. Liao., « Optimization of blood supply chain with shortened shelf lives and ABO compatibility », *International Journal of Production Economics*, 0, 1-49, 2014.
21. [DUA 13] Duan, Q., T. W. Liao., « A new age-based replenishment policy for supply chain inventory optimization of highly perishable products », *International Journal of Production Economics*, 145, 658-671, 2013.
22. [DUA 18] Duan, J., Q. Su, Y. Zhu, Y. lu., « Study on the Centralization Strategy of the Blood Allocation Among Different Departments within A Hospital », 27, 417–434, 2018.

- 23.[DUM 77] Dumas, M. B., M. Rabinowitz., « Policies for Reducing Blood Wastage in Hospital Blood Banks », *Management Science*, 23, 1124-1132, 1977.
- 24.[DUM 14] Dumkrieger, G., T. R. Huschka, J. R. Stubbs. « Modeling the effect of shorter shelf life of red blood cells on blood supplies», Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1293-1304,2014.
- 25.[EKI 18] Ekici, A., O. Ö. Özener, E. Çoban., « Blood Supply Chain Management and Future Research Opportunities », *Operations Research Applications in Health Care Management*, 241-266, 2018.
- 26.[ENS 17a] Ensafian, H., S. Yaghoubi., « Robust optimization model for integrated procurement, production and distribution in platelet supply chain », *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 103, 32-55, 2017.
- 27.[ENS 17] Ensafian, H., S. Yaghoubi, M. M. Yazdi., « Raising quality and safety of platelet transfusion services in a patient-based integrated supply chain under uncertainty », *Computers & Chemical Engineering*, 106, 355-372, 2017.
- 28.[FON 10] Fontaine, M. J., Y. T. Chung, F. Erhun, L. T. Goodnough., « Age of blood as a limitation for transfusion: potential impact on blood inventory and availability », *Transfusion*, 50, 2233-2239, 2010.
- 29.[FON 09] Fontaine, M. J., et al., « Improving platelet supply chains through collaborations between blood centers and transfusion services », *Transfusion*, 49, 2040-2047, 2009.
- 30.[GÖÇ 18] Göçmen, E., R. Erol., « Location and Multi-Compartment Capacitated Vehicle Routing Problem for Blood Banking System », *International Journal of Engineering Technologies*, 4, 1-12, 2018.
- 31.[GRA 15] Grasas, A., A. Pereira, M. A. Bosch, P. Ortiz, L. Puig., « 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, 233-242, 2015.
- 32.[GUÖ 15] Guðbjörnsdóttir, E. E., « Blood Bank Inventory Management Analysis. Thesis of Master of Science in Engineering Management, Reykjavík University, 2015.
- 33.[GUN 15] Gunpinar, S., G. Centeno., « Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals », *Computers & Operations Research*, 54, 129-141, 2015.
- 34.[HAI 13] Hajema, R., « A new class of stock-level dependent ordering policies for perishables with a short maximum shelf life », *International Journal of Production Economics*, 143, 434-439, 2013.
- 35.[HAI 11] Hajema, R., « Optimal Issuing of Perishables with a Short Fixed Shelf Life », *Computational Logistics*, 6971, 160-169, 2011.
- 36.[HAI 09] Hajema, R., N. van Dijk, J. V. D. Wal, C. S. Sibinga., « Blood platelet production with breaks: optimization by SDP and simulation », *International Journal of Production Economics*, 121, 464-473, 2009.
- 37.[HAM 19] Hamdan, B., A. Diabat., « A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem », *Computers & Operations Research*, 101, 130-143, 2019.
- 38.[HAR 15] Hardy, M., « Simulation of a Reduced Red Blood Cell Shelf Life. Thesis of Master of Applied Science, Dalhousie University, 2015.
- 39.[HED 09] Heddle, N. M., et al., « Factors affecting the frequency of red blood cell outdates: an approach to establish benchmarking targets », *Transfusion*, 49, 219-226, 2009.
- 40.[HEI 18] Heidari-Fathian, H., S. H. R. Pasandideh., « Green-blood supply chain network design: Robust optimization, bounded objective function & Lagrangian relaxation », *Computers & Industrial Engineering*, 122, 95-105, 2018.
- 41.[JAG 91] Jagannathan, R., T. Sen., « Storing Crossmatched Blood: A Perishable Inventory Model with Prior Allocation », *Management Science*, 37, 251-266, 1991.
- 42.[JEN 73] Jennings, J. B., « Blood bank inventory control », *Management Science*, 19, 637–645, 1973.
- 43.[KAT 08] Katsaliaki, K., « Cost-effective practices in the blood service sector », *Health Policy*, 86, 276-287, 2008.
- 44.[KAT 07] Katsaliaki, K., S. C. Brailsford., « Using simulation to improve the blood supply chain », *Journal of the Operational Research Society*, 58, 219-227, 2007.
45. [KEN 80] Kendall, K. E., S. M. Lee., « Formulating Blood Rotation Policies with Multiple Objectives », *Management Science*, 26, 1145-1157, 1980.
- 46.[KOC 08] Koch, C. G., L. Li, D. Sessler, P. Figueroa, G. A Hoeltge, T. Mihaljevic, E. Blackstone., « Duration of Red-Cell Storage and Complications after Cardiac Surgery », *New England Journal of Medicine*, 358, 1229-1239, 2008.

- 47.[KOP 08] Kopach, R., B. Balcioglu, M. Carter., « Tutorial on constructing a red blood cell inventory management system with two demand rates », *European Journal of Operational Research*, 185, 1051-1059, 2008.
- 48.[LAN 10] Lang, J. C., « Blood Bank Inventory Control with Transshipments and Substitutions », *Economics and Mathematical Systems*, 636, 205-226, 2010.
- 49.[LAR 19] Larimi, N.G., S. Yaghoubi, S.-M. Hosseini-Motlagh., «Itemized platelet supply chain with lateral transshipment under uncertainty evaluating inappropriate output in laboratories », *Socio-Economic Planning Sciences*.2019.
- 50.[LOW 15] Lowalekar, H., N. Ravichandran., « Inventory Management in Blood Banks », *International Series in Operations Research & Management Science*, 212, 431-464, 2015.
- 51.[LOW 14] Lowalekar, H., N. Ravichandran., « Blood bank inventory management in India», *OPSEARCH*,51,376-399,2014.
- 52.[MA 19] Ma, Z.-J., K.-M. Wang, Y. Dai., « An Emergency Blood Allocation Approach Considering Blood Group Compatibility in Disaster Relief Operations », *International Journal of Disaster Risk Science*, 10, 74-88, 2019.
- 53.[MAN 18] Mansur, A., I. Vanany, N. I. Arvitrida., « Challenge and opportunity research in blood supply chain management: a literature review. *The 2nd International Conference on Engineering and Technology for Sustainable Development (ICET4SD 2017)*», 154, 2018.
- 54.[NAH 11] Nahmias, S., « Blood Bank Inventory Control », *International Series in Operations Research & Management Science*, 160, 65-69, 2011.
- 55.[NAJ 17] Najafi, M., A. Ahmadi, H. Zolfagharinia., « Blood inventory management in hospitals: Considering supply and demand uncertainty and blood transshipment possibility », *Operations Research for Health Care*, 15, 43-56, 2017.
- 56.[OMS 17] OMS, « Sécurité transfusionnelle et approvisionnement en sang». Disponible sur : <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/blood-safety-and-availability>.2017
- 57.[OSO 18] Osorio, A. F., S. C. Brailsford, H. K. Smith., « Whole blood or apheresis donations? A multi-objective stochastic optimization approach », *European Journal of Operational Research*, 266, 193-204, 2018.
- 58.[OWE 01] Owens, W., M. Tokessy, G. Rock., « Age of blood in inventory at a large tertiary care hospital », *Vox Sanguinis*, 81, 21-23, 2001.
- 59.[PEG 70] Pegels, C. C., A. E. Jelmert., « An evaluation of blood inventory policies: a markov chain application », *Operations research*, 18, 1087–1098, 1970.
- 60.[PER 09] Perera, G., C. Hyam, C. Taylor, J. F. Chapman., « Hospital Blood Inventory Practice: the factors affecting stock level and wastage », *Transfusion Medicine*, 19, 99-104, 2009.
- 61.[PIE 04] Pierskalla, W. P., « Supply Chain Management of Blood Banks », *Operations Research and Health Care*, 103-145, 2004.
- 62.[PIN 94] Pink, J., A. Thomson, B. Wylie., « Inventory management in Sydney Public Hospital Blood Banks », *Transfusion Medicine*, 4, 237-242, 1994.
- 63.[PUR 17] Puranam, K., D. C. Novak, M. T. Lucas, M. Fung. « Managing blood inventory with multiple independent sources of supply », *European Journal of Operational Research*, 259, 500-511, 2017.
- 64.[RAB 73] Rabinowitz, M., « Blood bank inventory policies: a computer simulation », *Health Services Research*, 8, 271–282, 1973.
- 65.[RAJ 19] Rajendran, S., A. Ravi Ravindran., « Inventory management of platelets along blood supply chain to minimize wastage and shortage », *Computers & Industrial Engineering*, 130, 714-730. 2019.
- 66.[RAM 17] Ramírez, A. P., N. Labadie., « Stochastic inventory control and distribution of blood products, *the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bogota*, Colombia, October, 2017.
- 67.[ROS 12] Rossetti, M., N. Buyurgan, E. Pohl., « Medical Supply Logistics », *Handbook of Healthcare System Scheduling*, 168, 245-280, 2012.
- 68.[SAB 14] Sabouri, A. B. A., « Applications of stochastic optimization models in patient screening and blood inventory management, Doctoral thesis in Business Administration, University of British Columbia, 2014.
- 69.[SAL 12] Salehipour, A., M. M. Sepehri., « Exact and Heuristic Solutions to Minimize Total Waiting Time in the Blood Products Distribution Problem », *Advances in Operations Research*, 1-25, 2012.

- 70.[SAM 18] Ghatreh Samani, M. R., S. A. Torabi, S.-M. Hosseini-Motlagh., « Integrated blood supply chain planning for disaster relief », *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 168-188, 2018.
- 71.[SAP 89] Sapountzis, C., « Allocating Blood to Hospitals », *The Journal of the Operational Research Society*, 40, 443-449, 1989.
- 72.[SAR 15] Sarhangian, V., H. Abouee-Mehrizi, O. Baron, O. Berman, N. M. Heddle, R. Barty., « Reducing the age of transfused red blood cells in hospitals: ordering and allocation policies », *Vox Sanguinis*, 1-23, 2015.
- 73.[SIM 14] Simonetti, A., R. A. Forshee, S. A. Anderson, M. Walderhaug., « A stock-and-flow simulation model of the US blood supply », *Transfusion*, 54, 828-838, 2014.
- 74.[SIR 91] Sirelson, V., E. Brodheim., « A computer planning model for blood platelet production and distribution », *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 35, 279-291, 1991.
- 75.[SOC 17] Société canadienne du sang., « Implementation Update; Extension of Platelet Components Shelf Life From 5 to 7 Days », 2017.
- 76.[STA 18] Statbel. «Population de la Belgique par âge, au 1er janvier 1991-2071», Disponible sur : <https://statbel.fgov.be/fr/themes/population/perspectives-de-la-population#panel-13>, 2018.
- 77.[TET 08] Tetteh, G. A., « Optimal Allocation of Blood Products, Doctoral thesis in Transportation Engineering, Faculty of New Jersey Institute of Technology, 2008.
- 78.[VAN 09] Van Dijk, N., R. Haijema, J. van der Wal, C. S. Sibinga., « Blood platelet production: a novel approach for practical optimization », *Transfusion*, 49, 411-420, 2009.
- 79.[WAN 15] Wang, K.-M., Z.-J. Ma. « Age-based policy for blood transshipment during blood shortage », *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 80, 166-183, 2015.
- 80.[YOU 17] Yousefi nejad attari, m., S. H. R. pasandide, a. Agaie, S. T. Akhavan Niaki., « Presenting a stochastic multi choice goal programming model for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals », *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10, 81-96, 2017.
- 81.[ZHO 11] Zhou, D., L. C. Leung, W. P. Pierskalla., « Inventory Management of Platelets in Hospitals: Optimal Inventory Policy for Perishable Products with Regular and Optional Expedited Replenishments », *Manufacturing & Service Operations Management*, 13, 1-19, 2011.

ANNEXE

Numéro	Référence	Numéro	Référence	Numéro	Référence
60	[PEG 70]	60	[PER 09]	38	[HAR 15]
42	[JEN 73]	78	[VAN 09]	50	[LOW 15]
64	[RAB 73]	28	[FON 10]	72	[SAR 15]
12	[BRO 75]	48	[LAN 10]	79	[WAN 15]
13	[CHA 77]	35	[HAI 11]	5	[ATT 17]
23	[DUM 77]	81	[ZHO 11]	9	[BLA 17]
15	[COH 79]	4	[ATK 12]	19	[DIL 17]
45	[KEN 80]	6	[BAE 12]	27	[ENS 17]
16	[COH 83]	2	[ABO 13]	26	[ENS 17a]
71	[SAP 89]	11	[BLA 13]	55	[NAJ 17]
41	[JAG 91]	21	[DUA 13]	63	[PUR 17]
74	[SIR 91]	34	[HAI 13]	66	[RAM 17]
62	[PIN 94]	1	[ABD 14]	80	[YOU 17]
58	[OWE 01]	10	[BLA 14]	18	[DEH 18]
61	[PIE 04]	20	[DUA 14]	22	[DUA 18]
44	[KAT 07]	24	[DUM 14]	40	[HEI 18]
43	[KAT 08]	68	[SAB 14]	57	[OSO 18]
47	[KOP 08]	73	[SIM 14]	70	[SAM 18]
77	[TET 08]	14	[CIV 15]	37	[HAM 19]
29	[FON 09]	31	[GRA 15]	49	[LAR 19]
36	[HAI 09]	33	[GUN 15]	52	[MA 19]
39	[HED 09]	32	[GUÖ 15]	65	[RAJ 19]