



Integrated production in multi-echelon supply chain design

Akram Rekik, Mustapha Ouhimmou and Ali Gharbi

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

March 18, 2019

Intégration de la production dans la conception d'une chaîne d'approvisionnement multi-échelons

AKRAM REKIK¹, MUSTAPHA OUHIMMOU², ALI GHARBI³

¹Département de génie de la production automatisée
École de technologie supérieure, Université du Québec
Montréal (QC), Canada H3C 1K3
Akram-dhia-el-hak.rekik.1@ens.etsmtl.ca

²Département de génie de la production automatisée
École de technologie supérieure, Université du Québec & CIRRELT
Montréal (QC), Canada H3C 1K3
Mustapha.Ouhimmou@etsmtl.ca

³Département de génie de la production automatisée
École de technologie supérieure, Université du Québec & CIRRELT
Montréal (QC), Canada H3C 1K3
ALI.GHARBI@ETSMTL.CA

Résumé - La conception d'une chaîne d'approvisionnement pour un système de production-distribution dans un schéma multi-échelons est un problème de planification à trois niveaux. Souvent, ce problème global est décomposé en sous-problèmes et résolu de manière séquentielle. En effet, la plupart des articles considèrent la prise de décision du routage et de la gestion du stock dans une deuxième phase après avoir établi la structure du réseau en résolvant le problème de localisation en premier lieu. Des articles plus récents ont démontré que cette méthode de décomposition conduit à une solution sous-optimale. Cet article s'intéresse à la modélisation et à la résolution d'un problème qui combine, la localisation, le dimensionnement, la gestion du stock et la quantité à produire dans un horizon de planification déterministe. L'objectif est de réduire le coût global qui est composé de coûts fixes et de coûts variables. Nous proposons une formulation mathématique basée sur une programmation en nombre entier mixte (MILP) pour résoudre ce problème. L'expérimentation menée sur des instances de la littérature démontre que la considération de la capacité de production par période a une influence sur la solution et que la négligence de cet aspect génère des coûts supplémentaires.

Abstract - The design of a supply chain for a production-distribution system in multi-echelon network represents a three-level planning problem. Often, this global problem was decomposed into sub-problems and solved sequentially. Indeed, most papers consider the decision making of routing and inventory management in a second step after designing the network structure by solving the location problem in the first step. Recent articles have shown that this method of decomposition leads to a suboptimal solution. This paper focuses on modeling and solving a problem that combines location, fleet sizing, inventory management and production quantity in a deterministic planning horizon. The goal is to reduce the total cost. We propose a mathematical formulation based on a mixed integer linear programming (MILP) to solve this problem. The experimentations conducted on instances from the literature shows that integration of production has an influence on the solution and that ignoring this aspect generates additional costs.

Mots clés - Conception de chaîne d'approvisionnement, multi-échelons, multi-périodes production-distribution, localisation, inventaire.

Keywords - Supply chain design, multi-echelon, multi-period, production-distribution, location, inventory.

1 INTRODUCTION

Pour obtenir un avantage concurrentiel, la plupart des entreprises qui intègrent une activité logistique investissent dans l'ensemble du système de production-distribution afin d'améliorer les performances de leur chaîne d'approvisionnement. Cependant, sans une coordination de ces activités logistiques et une considération des divers composants de la gestion de la chaîne d'approvisionnement, le coût d'investissement augmente, puisque ces activités sont - pour la plupart d'entre eux - quotidiennes. La conception d'une chaîne d'approvisionnement représente un problème de planification à trois niveaux. Au niveau stratégique, il y a les décisions relatives à l'ouverture et à la localisation des installations qui composent le réseau, au dimensionnement et à la

répartition de la flotte, mais aussi à la quantité à produire au niveau de l'unité de production. Au niveau tactique, il y a la conception du plan de transport, le positionnement et la gestion du stock dans un horizon de planification et au niveau opérationnel les décisions de routage des véhicules dans lequel les ressources sont acheminées afin de soutenir l'exécution du plan de transport. L'objectif est d'obtenir un compromis entre les objectifs stratégique, tactique et opérationnel. Lorsqu'on parle de conception de chaîne logistique, plusieurs modèles existants dans la littérature considèrent un acheminement de marchandise direct depuis les installations vers les clients de manière à satisfaire une seule demande par route. Cependant dans la plupart des cas réels dans une tournée, un véhicule peut livrer plus d'un client lorsque

la charge transportée par un camion est inférieure à sa capacité.

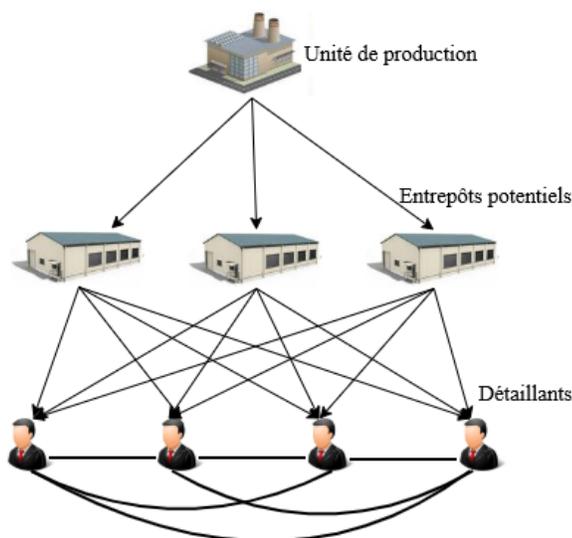


Figure 1 : structure du réseau

Dans ce cas de figure le coût de transport sera réduit puisqu'il y a moins de trajet à parcourir par les camions et moins d'heures de travail. Cependant la résolution des problèmes qui considère le routage de véhicules avec la capacité de livrer plus d'un client par route donne lieu à des modèles complexes, notamment à cause des contraintes de capacité et des contraintes d'élimination de sous-tours. D'autre part lorsqu'on parle de gestion de stock du client, une réduction du coût de transport peut-être réalisée avec une bonne gestion des ressources et une coordination des activités de transport. En effet, il est plus profitable à une entreprise de gérer le stock du client (détaillant) dans le cas d'une demande variable stationnaire et donc qui peut varier à chaque période. Une planification rigoureuse doit être réalisée sur un horizon de planification plus long. Ce cas de figure est profitable pour les entreprises, car les tournées seront réalisées en fonction du niveau de stock présent aux nœuds clients, de cette façon, il n'y a pas de fréquence de livraison fixe par période, cependant plusieurs travaux ont démontré que la complexité augmente en fonction du nombre de périodes pris en considération. D'autre part, la planification des périodes de livraison pour chaque client représente un problème d'optimisation combinatoire complexe, puisque à chaque période, le client peut consommer de son stock, peut consommer de la quantité envoyée à cette période, comme il peut consommer des deux. La complexité est d'autant plus élevée lorsque la quantité produite au nœud du premier niveau est limitée. En effet, la plupart des travaux dans ce domaine considèrent un nœud fournisseur au premier échelon avec une capacité illimitée. Cependant, dans le cas réel, même le fournisseur ne dépasse pas une quantité donnée par période pour réapprovisionner les entrepôts.

Dans ce travail, nous étudions un problème de tournée de véhicule avec localisation, production et gestion du stock (PILRP) dans un schéma multi-échelons qui est une continuité du travail de [W.J. Guerrero et al. 2013] et [W.J. Guerrero et al. 2015] là où on intègre le maillon de la production. Nous ajoutons une capacité limite de production par période au nœud du 1er échelon.

La plupart des articles qui adressent le (ILRP) considèrent une quantité illimitée de réapprovisionnement pour les nœuds intermédiaires du réseau (les entrepôts) voir figure 1. Nous

proposant un modèle pour le (ILRP) avec une unité de production au premier niveau, un ensemble d'entrepôts pour les nœuds intermédiaires et un ensemble de clients qui ont une capacité de stockage hétérogène.

À la section 2, nous présentons une revue de la littérature liée au (ILRP) en se basant sur les articles récents. Dans la section 3 nous décrivons le problème (PILRP) de façon formelle. Ensuite une étude expérimentale est réalisée sur des instances de la littérature et une discussion sont présentées aux sections 4 et 5 respectivement et enfin, une conclusion et des perspectives sont proposées à la section 6.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Le problème de planification étudié ici relie trois types de décisions : 1) Stratégique : localisation des entrepôts (nœuds intermédiaires), affectation des clients aux entrepôts et allocation des véhicules aux installations 2) Tactique : déterminer la quantité de marchandises à produire par période, déterminer la quantité à stocker à chaque échelon pour chaque période, déterminer l'emplacement de la marchandise et déterminer la taille de la flotte. 3) opérationnelles : acheminer la marchandise vers les clients (routage de véhicules).

À travers la littérature, on peut observer que ces décisions ont souvent été étudiées séparément. En effet, plusieurs articles de synthèse traitent le problème de localisation et de routage en abordant ces prises de décisions simultanément, exemple [Prodhon, C. et Prins, C., 2014], [Drexler, M. et Schneider, M., 2013], [Drexler, M. et Schneider, M., 2015], [Min, H., et al. 1998], alors que d'autres articles étudient la prise de décision d'inventaire et de routage, exemple [Roldan, R.F., et al. 2017], [Andersson, H., et al. 2010]. La plupart des articles cités dans ces revues utilisent la méthode traditionnelle qui consiste à résoudre de manière séquentielle les différents niveaux de planification. Dans ces cas, souvent, le problème de localisation est résolu en premier lieu afin de fixer les nœuds du réseau ensuite le problème de routage ou gestion de stock est résolu en deuxième phase. Cette méthode est intuitive, facile à appliquer et à implémenter puisqu'on impose la solution obtenue du niveau supérieur aux autres niveaux inférieurs. Cependant, cette méthode génère rarement une solution optimale. Plusieurs articles tels que [Salhi, S. et Rand, G.K., 1989] et [Darvish, M. et Coelho, L.C., 2018] démontrent que cette méthode résulte une prise de décision sous-optimale. Dans ce domaine de recherche les problèmes d'optimisation combinatoire les plus étudiés sont les problèmes de tournée de véhicule avec localisation (LRP), les problèmes de localisation et d'inventaire (LIP) et les problèmes d'inventaire et de routage (IRP). Les premiers articles à avoir intégré, dans la conception de la chaîne d'approvisionnement, les trois aspects : localisation, inventaire, routage (ILRP) sont [Lei, L., et al. 2006], [Liu, S.C. et Lee, S.B., 2003] et [Liu, S.C. et Lin, C.C., 2005]. [Liu, S.C. et Lee, S.B., 2003] ils proposent un schéma comportant un ensemble d'entrepôts et de clients, là où le problème de routage multi-dépôts (MDLRP) combine les décisions de localisation de dépôts, les décisions de routage des véhicules d'une part et le contrôle et la gestion du stock d'autre part. Ils décomposent le problème en deux sous-problèmes indépendants, la première solution est celle obtenue en résolvant le problème de gestion des stocks fixant ainsi les quantités à livrer pour une période unique. Cette méthode est simple à implémenter, cependant, elle présente un problème majeur qui est l'hypothèse que tous les clients sont visités avec la

Articles	Gestion de l'inventaire			Décisions				Planification	Méthode de résolution
	Clients/ Détailant	Dépôt/ Entrepôts	Fournisseur/ Usine	Production	Localisation	Inventaire aux échelons	Routage		
[Lin, S.C. et Lee, S.B., 2003]	✓				✓		✓	✓	MILP/ heuristique à 2 phases
[Lin, S.C. et Lin, C.C., 2005]	✓				✓		✓	✓	Recherche Tabou / R.S
[Lei, L., et al. 2006]		✓			✓		✓	✓	MIP/ heuristique
[Shen, Z.J.M. et Qi, L., 2007]		✓			✓		✓	✓	MINLP/relaxation lagrangienne
[Zhang, B., et al. 2008]		✓			✓		✓	✓	Algorithme génétique mixte
[Bard, J.F. et al. 2009]	✓					✓	✓	✓	MIP/ Recherche Tabou
[Javid, A.A. et Azad, N., 2010]	✓	✓			✓		✓	✓	MIP/ Recherche Tabou / R.S
[Bard, J.F. et al. 2010]	✓					✓	✓	✓	MIP/ "Brunch and price"
[Hassat, A. et al. 2011]	✓				✓		✓	✓	MIP
[Sajjadi, S.R. et al. 2011]		✓			✓		✓	✓	R.S : Recuit Simulé
[Ahmadi-Javid, A. et al. 2012]		✓			✓		✓	✓	MIP/ heuristique à 3 phases
[Guerrero, W.J., et al. 2013]	✓				✓	✓	✓	✓	MILP/heuristique hybride
[Tavakkoli M.R., et al., 2013]		✓			✓		✓	✓	MIP
[Nekooghadrli, N., et al. 2014]		✓			✓		✓	✓	Métaheuristique
[Zhang, Y., et al. 2014]	✓				✓		✓	✓	Métaheuristique hybride
[Nekooghadrli, et al. 2014]	✓				✓		✓	✓	Métaheuristique
[Guerrero, W.J., et al. 2015]	✓				✓		✓	✓	Heuristique "relax-and-price"
[Tang, J., et al. 2016]		✓			✓		✓	✓	Particle swarm
[Deng, S., et al. 2016]		✓			✓		✓	✓	Hybrid ant colony
[Ghorbani, A. et al. 2016]		✓			✓		✓	✓	Recuit Simulé
[Kaya, O. et Urek, B., 2016]		✓		✓	✓		✓	✓	MINLP/heuristique
[Zhalachian, M., et al. 2016]		✓			✓		✓	✓	Métaheuristique hybride
[Tavakkoli M.R., et al., 2016.]		✓			✓		✓	✓	Fuzzy programming
[Hassat, A., et al. 2017]	✓				✓		✓	✓	MIP/ "Brunch and price"
[Rayat, F., et al. 2017]		✓			✓		✓	✓	MINLP/R.S/métaheuristique
[Rafie-Majid, Z., et al. 2018]	✓				✓		✓	✓	Relaxation lagrangienne
[Vahdani, B., et al. 2018]		✓			✓		✓	✓	MILP/Algorithmes génétique
[Wang, H. et Lim, M.K., 2018]		✓			✓		✓	✓	Algorithmes génétique
[Saragh, N.I., et al. 2018]	✓				✓		✓	✓	Recuit Simulé
[Asadi, E., et al. 2018]		✓			✓		✓	✓	Métaheuristique
[Darvish, M. et al. 2018]		✓			✓		✓	✓	MILP/ métaheuristique
[Chao, C., et al. 2019]		✓			✓		✓	✓	MIP/ heuristique hybride
[Zheng, X., et al. 2019]		✓			✓		✓	✓	GBD
Notre travail	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	MILP

Table 1 : Articles sur les principaux types de problèmes d'inventaire, de localisation et routage depuis 2003 à 2019

même fréquence. Les auteurs ont démontré que les décisions en matière de contrôle des stocks sont liées à la sélection de l'itinéraire parcourue par les véhicules et à l'emplacement du dépôt. Ils mentionnent aussi le fait que les articles précédents ont toujours ignoré dans le MDLRP les décisions de contrôle des stocks. Dans cet article, les auteurs proposent : un modèle mathématique pour le problème de routage de localisation multi-dépôts pour un seul produit prenant en compte les décisions de contrôle des stocks, et une méthode heuristique en deux phases : la première phase est basée sur le coût minimal du système (localisation, transport et coûts d'inventaire) et la deuxième phase est une heuristique indépendante qui améliore la solution initiale obtenue dans la phase 1.

D'autres articles présentent une approche similaire tels que [Liu, S.C. et Lin, C.C., 2005], [Ma, H. et Davidrajuh, R., 2005]. Ils décomposent le problème en deux sous-problèmes indépendants. Ils fixent les quantités à livrer pour une seule période résolvant ainsi le problème de gestion de stock ensuite avec ces résultats, ils déterminent les emplacements des installations à ouvrir ou à sélectionner. En effet, ils divisent le problème (ILRP) en un problème localisation-allocation et un problème d'inventaire et de routage. Chaque sous-problème est résolu séparément et séquentiellement par une heuristique hybride combinant des méta-heuristiques tel que la recherche taboue et la recherche locale. L'algorithme proposé est testé et évalué par une méthode de simulation.

D'autres articles plus récents ont prouvé que la conception d'un réseau de chaînes d'approvisionnement doit être réalisée en considérant simultanément la gestion du stock, la localisation, le routage (ILRP). De cette façon, la résolution sera globale, avec un impact positif sur la performance de la chaîne. [Shen, Z.J.M. et Qi, L., 2007] est l'un des premiers articles qui a proposé un modèle complet pour le (ILRP). Les auteurs démontrent que la plupart des modèles qui se sont intéressés de prêt au problème de localisation, ne prennent pas en compte les coûts d'inventaire. De plus, les coûts de transport sont estimés par expédition directe ce qui n'est pas souvent réaliste. Cette étude a pour objectif de minimiser le coût total comprenant les coûts de localisation, les coûts d'inventaire et les coûts de distribution de manière conjointe. Plusieurs articles plus récents ont étudié le (ILRP), la plupart de ces articles ont proposé des méthodes heuristiques puisque le problème combine des sous-problèmes NP-hard. Par exemple [Guerrero, W.J., et al. 2013] propose une version du (ILRP) avec une prise en compte du stock du client (détaillant). Dans cette étude, les auteurs abordent le problème de la conception d'une chaîne d'approvisionnement avec l'objectif de satisfaire la demande dynamique stationnaire des clients par période sur un horizon de planification définie. Cet objectif requiert la prise en compte des décisions d'acheminement par une flotte homogène de véhicules, sélectionner un sous-ensemble de dépôts à ouvrir parmi un ensemble de candidats et considérer les règles d'inventaire pour un système à deux échelons multi-périodes. Les auteurs proposent un modèle mathématique (MILP) pour formaliser le problème et obtenir une borne supérieure. Cependant, le modèle analytique ne permet pas d'obtenir une solution de qualité dans un temps polynomial. Pour cette raison, les auteurs proposent, ensuite, une heuristique hybride basée sur une version modifiée de l'algorithme de Clark et Wright avec une recherche locale pour améliorer la solution. Les résultats démontrent la capacité de l'algorithme à trouver des solutions de haute qualité avec un temps de résolution réduit. D'ailleurs, dans la plupart des articles cités

précédemment, après la formalisation du problème, les auteurs proposent des méthodes approchées pour trouver des bornes supérieures. Selon [Shen, Z.J.M. et Qi, L., 2007] et [Zheng, X., et al. 2019] les principaux obstacles à l'optimisation intégrée sont la non-linéarité du modèle résultant (MINLP) et le nombre considérable de variables et de contraintes générées par la prise de décision de routage. En effet, c'est le cas de l'étude de [Rayat, F., et al. 2017], qui propose un modèle fiable qui considère un problème multi-produits et multi-périodes pour le (LIRP) en tenant compte des risques de perturbation qui peuvent apparaître à cause des pauses de maintenance, des pannes d'électricité et etc. Les auteurs abordent la gestion du stock dans un système où la demande est stochastique et dans laquelle l'inventaire des produits est perturbé au hasard dans les centres de distribution. Cette étude décompose l'objectif principale en deux : 1) le premier objectif minimise les coûts de location, d'acheminement, de transport et des composants d'inventaire (la commande, la détention et les coûts de précommande), 2) le deuxième objectif est de minimiser le coût total de défaillance liée aux centres de distribution pour améliorer la fiabilité du réseau de la chaîne d'approvisionnement. Les auteurs présentent un modèle de programmation non-linéaire à entiers mixtes et entiers (MINLP) et une méta-heuristique pour améliorer les performances. Les résultats mentionnés dans cet article, démontrent que plusieurs améliorations peuvent être apportées à une chaîne d'approvisionnement qui permet de rendre plus fiable la structure du réseau et les itinéraires choisis, sans générer un coût élevé. Cet article termine par des perspectives et des recommandations à considérer dans un travail futur, tel que la considération d'une chaîne d'approvisionnement à trois échelons. Selon [Chao, C., et al. 2019] et [Darvish, M. et Coelho, L.C., 2018], un aspect souvent ignoré lors de la modélisation des chaînes d'approvisionnement est la production. En effet, la plupart des articles qui traitent le problème de (ILRP) proposent des modèles avec une quantité de marchandises illimitée pour réapprovisionner les entrepôts ce qui n'est pas toujours réaliste, même si le (les) nœud(s) du premier échelon est souvent considéré comme des fournisseurs voir ([Guerrero, W.J., et al. 2015], [Saragih, N.I., et al. 2018], [Vahdani, B., et al. 2018] et [Zheng, X., et al. 2019]). Dans cet article [Chao, C., et al. 2019], les auteurs présentent l'importance de la prise en compte de la quantité à produire dans les nœuds du premier échelon qui sont des unités de productions. La quantité à produire est un problème de planification stratégique tout comme la localisation des installations. Le problème (ILRP) devient plus complexe lorsque la quantité produite et le coût de production sont pris en compte simultanément avec les décisions de localisation, de gestion de stock.

L'objectif de l'article est de satisfaire la demande des clients avec une livraison de produits alimentaires à partir d'un ensemble de centres de distribution candidats. Les produits sont acheminés à travers les échelons depuis les unités de production vers les clients en passant par les entrepôts sélectionnés. Cette étude décompose le problème en deux phases : la première phase correspond à résoudre le (ILRP) avec des fenêtres de temps et la deuxième phase est la prise de décision de routage avec des capacités de transport pour les véhicules. Un modèle analytique basé sur la programmation linéaire en nombre entier mixte est proposé. Vu la complexité du problème, les auteurs proposent une heuristique hybride basée sur une approche de groupage "clustering" afin de faciliter l'affectation des clients aux installations et la sélection des centres de distribution à ouvrir. Puis une opération de mutation

et une méthode d'échange de localisation sont introduites pour améliorer les performances de l'algorithme. À travers plusieurs instances de taille réduite et des cas réels, les auteurs démontrent l'efficacité de l'heuristique hybride. L'approche qui consiste à grouper des clients sur la base de la distance améliore considérablement le temps d'exécution, quant aux méthodes de mutation et d'échange, elles permettent de d'élargir l'espace de recherche. Un autre article récent soutient cette perspective qui consiste à intégrer la production lors de la conception de la chaîne d'approvisionnement ([Asadi, E., et al. 2018]). Dans cette étude les auteurs présentent un modèle viable à deux objectifs, qui sont la production et la distribution de biocarburants à base d'algues. Cet article présente une formulation qui intègre des décisions de localisation, d'inventaire et de routage. Le modèle proposé comprend une unité de production de biomasse d'algues, un ensemble de centre de distribution, et un ensemble de sites d'extraction. La prise de décision sur le coût global de mise en œuvre du système et l'impact de la pollution émise via les émissions de CO2 sont considérer et résolue simultanément. Dans ce modèle le dernier échelon qui est typiquement composé de nœuds clients qui sont remplacés par des sites d'extraction. Les objectifs de cet article sont économiques et environnementaux, le but est de déterminer le nombre et l'emplacement des installations de distribution, l'affectation de ces installations aux centres d'extractions et le maintien du niveau minimal du stock dans chaque installation de distribution. Les auteurs démontrent la complexité du problème à traiter et proposent deux algorithmes multi-objectifs basé sur des métaheuristiques (GA, SP).

Le nombre d'articles qui proposent un modèle pour le problème de localisation, de gestion de stock et de routage de véhicule a augmenté depuis 2013. Selon un article de synthèse [Prodhon, C. et Prins, C., 2014], le nombre d'articles qui ont traité ce problème (ILRP) depuis 2007 jusqu'à 2013 s'élèvent à 4 articles. Depuis 2013, le nombre d'articles qui traitent le (ILRP) a connu une croissance exponentielle. À notre connaissance, le nombre d'articles qui abordent explicitement le problème de (ILRP) de 2013 à 2019 est plus de 20 articles. Plusieurs variantes du problème de (LIRP) ont apparus récemment ce qui montre l'intérêt porté par la communauté scientifique à ce domaine de recherche. Le tableau 1 présente les caractéristiques des études réalisées dans ce domaine et le positionnement de notre travail par rapports à l'existant.

À notre connaissance, en considérant ce corpus de recherches bien établi dans cette section, aucun document n'intègre les décisions relatives à la localisation, la production, la gestion du stock a tous les niveaux et la distribution à travers une tournée de véhicule dans un réseau multi-échelons dans un horizon de planification multi-périodes.

3 DESCRIPTION DU PROBLEME ET FORMULATION

Formellement, on va considérer $i \in I$ l'ensemble des entrepôts et $j \in J$ l'ensemble des clients à livrer et d_j^t la demande du client $j \in J$ à la période t dans l'horizon de planification $H = \{1, \dots, p\}$. On va noter W l'ensemble des entrepôts potentiels. Le nœud du premier échelon est noté M . Le (PILRP) est défini sur un graphe complet, pondéré et dirigé $G = (V, A, C)$ avec $V = \{M \cup W \cup J\}$ est l'ensemble des nœuds du graphe et C la matrice de coût C_{ij} associée au coût de déplacement du nœud i au nœud j dans l'ensemble des arcs A du réseau. Nous considérons une flotte de véhicules homogène, avec un ensemble $k \in K$ véhicules

identiques. Chaque nœud $n \in V$ est associé à une capacité de stockage W_n . Aussi, chaque entrepôt $i \in W$ est associé à un coût d'ouverture O_i . La capacité d'un véhicule est notée Q et le coût d'utiliser au moins une fois ce véhicule est noté FK . On va appeler le stock initial de chaque installation i , B_i et $H_0 = \{0\} \cup H$ et $H' = H \cup \{p + 1\}$ sont les horizons utilisés pour modéliser les conditions initiales et finales dans les niveaux de stock. Le coût de maintien du stock (coût de détention) au niveau du nœud $i \in M \cup W$ à partir de la période $t \in H$ est q_i^{tl} et cp est le coût de production. Le coût de commande pour les installations est noté s_i . Les variables de décision $y_i = 1$ si l'installation $i \in W$ est ouverte, et $f_{ij} = 1$ si le client $j \in N$ est affecté au dépôt i , $x_{ij}^{kt} = 1$ si l'arc $(i, j) \in A$ est traverser de i vers j par le véhicule $k \in K$ sur la période $t \in H$. Le nombre maximum de véhicules pour un entrepôt $i \in W$ est représenté par T_i . Même si notre modèle compte trois échelons, on peut les classer en deux groupes d'arcs : 1) les arcs allant de l'unité de production vers les entrepôts, 2) les arcs allant des installations vers les clients et les arcs qui relient les clients entre eux. On va noter $w_{ij}^{2t|k}$ la prise de décision de réapprovisionnement du client j par l'installation i avec $i \in W$ pendant la période t pour satisfaire la demande pendant la période l en utilisant le véhicule k . La quantité de produit utilisée du stock initial pour le client j pour satisfaire la demande pendant la période $t \in H'$ est indiquée par w_{j0}^{1t} . Au premier échelon $z_i^l = 1$ si l'entrepôt i est approvisionné à la période l , sinon 0. Nous avons gardé la même notation que l'article [Guerrero, W.J., Prodhon, C., Velasco, N. et Amaya, C.A., 2013], nous avons intégré l'aspect de la production comme le critère de décision dans la formulation.

Notations :

- I ensemble des entrepôts candidats
- J ensemble des clients
- M est l'indice de l'unité de production
- $V = \{M \cup I \cup J\}$ ensemble des nœuds du réseau
- H l'ensemble des périodes
- $H_0 = H \cup \{0\}$
- $H' = H \cup \{P+1\}$
- K ensemble des véhicules
- A ensemble des arcs
- C_{ij} Coût de transport de i vers j
- W_i Capacité de stockage du nœud i
- W capacité de stockage de l'unité de production
- O_i Coût d'ouverture de l'installation i
- s_i Coût de lancement de commande
- Q capacité d'un véhicule
- F coût d'utilisation d'un véhicule
- B_i Stock initial
- q_i^{tl} Coût de maintien du stock pour i
- d_j^t Demande du client l a la période t
- WP^t est la capacité de production à la période t
- $y_i = 1$ si i est ouvert
- $f_{ij} = 1$ si i est affecté à j
- $x_{ijkt} = 1$ si l'arc (i,j) est traversé par le véhicule k a la période t
- $T_i = 1$ nombre maximale de véhicule affecté à l'entrepôt i
- qp_t Quantité produite a la période t

- w_{tl} Quantité gardée en stock à l'unité de production m de la période t à la période l .
- w_{it}^{1l} Quantité gardée en stock à l'entrepôt i de la période t à la période l .
- w_{j0}^{2t} Quantité gardée en stock au client j de la période t à la période l .
- w_{ij}^{2tlk} Quantité livrée depuis l'entrepôt i au client j par le véhiculé k gardée en stock de la période t à la période l .
- $z_{it} = 1$ si l'entrepôt i est réapprovisionner à la période t
- N est le nombre de clients.
- v_i^t Quantité de marchandise manquante lors de la rupture du stock au nœud i à la période t .
- P est le coût unitaire pour les rupture de stock

La fonction objectif est :

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{i \in I} O_i y_i + \sum_{i \in I \cup M} F T_i + \sum_{i \in I \cup M} \sum_{l \in H} S_i z_{it} + \sum_{t \in H} q p_t c p + \\ & \sum_{t \in H_0} (q_{0t} w_{0t}) + \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{t \in H} \sum_{l=t}^{P+1} \sum_{k \in K} (q_j^{tl} w_{ij}^{2tlk}) + \\ & \sum_{t \in H} \sum_{i \in V} v_i^t P + \\ & \sum_{i \in I} \sum_{l > 0} \sum_{t \in H_0} (q_i^{tl} w_{it}^{1l}) + \sum_{j \in N} \sum_{t \in H'} (q_{j0t} w_{j0t}^2) \\ & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in H} \sum_{l=t}^{P+1} \sum_{k \in K} (q_j^{tl} w_{ij}^{2tlk}) + \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} \sum_{t \in H} (c_{ij} x_{ij}^{tk}) + \end{aligned}$$

Nous ajoutons des termes à la fonction objectif proposée par [Guerrero, W.J., Prodhon, C., Velasco, N. et Amaya, C.A., 2013] afin de pouvoir minimiser les coûts de production par période, les coûts de maintien du stock au niveau de l'unité de production, les coûts unitaires de production par période et les coûts générés lors d'une pénurie. Nous avons également ajouté une variable de décision pour minimiser les ruptures de stock. Les termes qu'on a gardé depuis la formulation de [Guerrero, W.J., Prodhon, C., Velasco, N. et Amaya, C.A., 2013] sont : les coûts de maintien du stock au niveau des entrepôts et des clients, les coûts de transports, le coût d'ouverture des entrepôts et l'utilisation des véhicules.

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{l=1}^t w_{ij}^{2tlk} + w_{j0}^{2t} + v_j^t \geq d_j^t, \quad \forall j \in J, t \in H \quad (2)$$

La contrainte de satisfaction de la demande (2) permet de satisfaire la demande des clients, à chaque période. Lorsque la quantité produite est insuffisante il y aura une pénurie et la solution sera pénalisée proportionnellement à la quantité manquante. Dans l'article de [Guerrero, W.J., Prodhon, C., Velasco, N. et Amaya, C.A., 2013], la contrainte de satisfaction de la demande est une égalité entre la demande par période et la quantité stockée plus la quantité reçue à la même période.

$$w_{j0}^{2t} = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{l=1}^t w_{ij}^{2tlk} - d_j^t - v_j^t, \quad \forall j \in J, t \in H \quad (3)$$

La contrainte (3) permet de maintenir le niveau du stock par rapport à la consommation périodique, la quantité de stock manquante et à la quantité de marchandise reçue depuis les entrepôts.

$$q p_t + w_{0t} \geq \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{l=t}^{P+1} \sum_{k \in K} w_{mi}^{2tlk}, \quad \forall i \in I, t \in H \quad (4)$$

La contrainte (4) force la variable de flux à respecté la quantité produite. La quantité de marchandise envoyée à l'entrepôt ne doit pas dépasser la quantité produite plus la quantité stockée dans la période précédente.

$$q p_t + w_{0t} \leq W, \quad \forall t \in H \quad (5)$$

$$q p_t \leq W P^t, \quad \forall t \in H \quad (6)$$

Les contraintes (5) et (6) sont des contraintes de capacité pour l'unité de production. La contrainte (5) stipule que la quantité produite et le niveau de stock existant ne doivent pas dépasser la capacité de stockage. La contrainte (6) permet de respecter la capacité de production.

$$\sum_{l > 0}^{P+1} w_{it}^{1l} = \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{l \in H_0} \sum_{k \in K} w_{ij}^{2tlk} - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l=t}^{P+1} \sum_{k \in K} w_{ij}^{2tlk}, \quad \forall i \in I, t \in H \quad (7)$$

La quantité stockée au niveau des entrepôts est assurée par la contrainte (7), cette contrainte permet la conservation de flux à travers les échelons.

$$u_i^k - u_j^k + 1 \leq (C - 1) * 1 - x_{ij}^{kt} \quad \forall i \in V, j \in V, t \in H, k \in K \quad (8)$$

$$1 \leq u_i^k \leq C - 1 \quad \forall i \in V, k \in K \quad (9)$$

Les contraintes (8) et (9) sont les contraintes d'élimination de sous tours, qui sont basés sur l'ordre de visite.

Dans l'article [Guerrero, W.J., Prodhon, C., Velasco, N. et Amaya, C.A., 2013], les contraintes liantes de (9) a (12), (17) et (19), les contraintes de routage et de conservation pour les arcs de (13) a (16) et les contraintes de capacité de (4) a (8) et (18) sont valide pour notre schéma.

4 EXPERIMENTATION

Les tests ont été menés sur un ordinateur avec processeur $i7$, 3.5Ghz et 64Go de Ram.

Nous avons choisi d'utiliser des instances de l'article [W.J. Guerrero 2013] pour le ILRP qu'on a modifié, puisque à notre connaissance il n'y a pas d'instances existantes dans la littérature pour notre cas. Les instances comportent deux niveaux seulement (entrepôts et clients), nous avons donc ajouté un niveau supplémentaire 'niveau unité de production', qui possède une capacité d'entreposage et de production. Les instances varient selon le nombre de nœuds du graphe, les périodes et les coûts (stockage, transport...). Les instances du ILRP sont au nombre de 20, classées selon les caractéristiques suivantes : $M \in \{5, 7\}$ est l'ensemble d'entrepôts, c'est-à-dire, qu'il ya des instances avec 5 entrepôts et d'autres avec 7 entrepôts, $N \in \{5, 7, 15\}$ pour les instances avec 5, 7 et 15 clients. Les fichiers sont nommés $M-N-P-X$ avec M l'ensemble des entrepôts, N l'ensemble des clients, P le nombre de périodes $P \in \{5, 7\}$ et $X : \{abc\dots\}$ est une lettre pour différencier les instances qui ont les mêmes dimensions. La demande d'un client donné j pour la période t est générée selon une distribution normale $d_i^j \sim N(\mu_j, \sigma_j)$, avec $\mu_j \in [5, 15]$ et $\sigma_j \in [0, 5]$. Les coûts d'ouverture des installations sont générés aléatoirement avec une distribution normale avec des paramètres (μ, σ) choisies parmi les paires $\{(1000, 20), (5000,$

100),(8000, 300)}, et le coût de lancement de commande est choisie avec l'ensemble {100, 500}. Les capacités des nœuds sont générées également de manière aléatoire avec une distribution normale.

Les coordonnées (Xi, Yi) son générés de façon aléatoire dans un carré (zone) 100×100.

Instances	(S1)	(S2)	(S3)	(S3-S2)	Perte/S2 (%)
WG5-5-5a.dat	98 884.91	140 277.67	158 508.5	18 230.83	13.00%
WG5-5-5b.dat	60 068.175	150 068.175	186 978.727	36 910.552	24.59%
WG5-5-5c.dat	70 631.335	161 309.127	170 192.801	8 883.723	5.22%
WG5-5-5d.dat	90 386.985	153 384.25	172 912.195	19 527.945	12.73%
WG5-5-5e.dat	91 947.065	142 356.205	169 915.66	27 559.455	16.22%
WG5-5-7a.dat	89 527.235	152 276.099	163 996.47	11 720,371	7.69%
WG5-5-7b.dat	115 494.22	149 909.905	185 846.785	35 936,88	23.97%
WG5-5-7c.dat	96 350.282	147 946.845	161 733.035	13 786.19	9.31%
WG5-5-7d.dat	87 605.991	151 368.845	177 929.675	26 560,83	17.54%
WG5-5-7e.dat	83 825.67	162 865.6	182 533,025	19 667,425	12.07%
WG5-7-5a.dat	89 714.965	130 036.76	181 369.45	51 332.69	39.47%
WG5-7-5b.dat	74 402.415	127 266.555	175 062.82	47 796.265	37.55%
WG5-7-5c.dat	123 955.995	241 722.373	286 813.209	45 090.836	18.56%
WG5-7-5d.dat	98 701.828	138 101.423	163 353.715	25 252,292	18.28%
WG5-7-5e.dat	71 855.985	117 817.455	146 370.365	28 552.91	24.23%

Tableau 2 : comparaison des résultats de l'expérimentation

Le tableau 2 montre les résultats que nous avons obtenus. La première colonne représente le nom de l'instance, la colonne (S1) présente le coût de conception de la chaîne de distribution sans considérer la dimension production. La colonne (S2) représente la solution avec considération de la production, cette solution représente le coût global de production et distribution. La colonne (S3) représente le coût de production et de distribution générale, lorsqu'on considère le chemin de la solution (S1) au lieu de la solution (S2). Les deux dernières colonnes présentent la perte subite lorsque la résolution est effectuée sans considérer la production. Les expérimentations ont été menées sur 15 instances. Les instances de grandes tailles qui sont au nombre de 5 ont été négligées, nous rappelons que la taille de l'instance n'est pas d'une grande importance pour notre travail, puisque notre objectif est de démontrer l'influence de la production sur la conception de la chaîne d'approvisionnement. Une solution exacte nous permet de comparer efficacement notre travail avec le cas d'une distribution sans contraintes de production. Cependant, la complexité du problème rend le temps de calcul plus long. Pour cette raison nous avons choisi de limiter le temps de traitement à 20h. Dans ce laps de temps la résolution dès l'instances : WG5-5-5b, WG5-5-5d et WG5-5-7b atteint l'optimalité.

5 DISCUSSION

On peut remarquer d'après le tableau 2 que la solution (S2) qui considère la production lors de la conception est toujours moins coûteuse que la solution (S3) qui néglige l'aspect production. Cette perte est généralement causée par la limite de capacité par période imposée par les contraintes de capacité pour l'unité de production. En effet, la contrainte de satisfaction de la demande pour la solution (S1) est une égalité entre la quantité en stock plus la quantité de réapprovisionnement et la demande à chaque période. Cette contrainte impose que : lorsque le stock présent à la première période est faible, il sera consommé à cette même période, ce qui va générer des solutions avec une politique de réapprovisionnements 'lot par lot'. Cette politique n'est pas efficace lorsque le coût de transport est élevé, ce qui est le cas des instances traitées dans cet article. En observant les solutions (S1) on note qu'à la première ou à la deuxième période la totalité du stock est consommé au niveau des clients, ce qui pousse le réapprovisionnement à chaque période suivante. Puisque dans ce cas il n'y a pas de contraintes de capacité sur la production par période, le coût global de transport est faible. Cette même solution (S1) lorsqu'elle est limitée par une capacité de production, appelée (S3), génère un coût très élevé puisque les limites de production n'ont pas été prises en compte lors de la conception de cette solution (S3). Par ailleurs, lorsque la

contrainte de satisfaction de la demande devient une inégalité, le stockage est permis sur plusieurs périodes. La solution (S2) qui est générée dans ce cas est moins coûteuse que la solution (S3), car la solution (S2) considère la capacité de production par période, ce qui présente un avantage pour améliorer la gestion du stock à chaque niveau.

Le pourcentage de perte subit lorsque la production est négligée lors de la conception varie entre 5 et 40% selon l'instance. Pour les instances WG5-5-5c et WG5-5-7a la perte est relativement faible, ce qui signifie que la solution (S1) peut être envisagée. Cependant, pour les autres instances la perte peut aller jusqu'à 39.5%. D'autant plus que l'instance résolue à l'optimalité présente un pourcentage de perte élevée, ce qui signifie que la valeur des pertes peut être plus conséquente. On note aussi que la résolution des instances, avec un nombre de clients égale à 7, résulte par une perte plus élevée que les autres instances. Ce qui prouve que pour la résolution d'instances de grandes tailles avec un nombre de clients élevés, il faut intégrer la dimension production afin de concevoir une chaîne d'approvisionnement avec les moindres coûts.

6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article nous nous sommes intéressés à l'impact de la production sur la conception d'une chaîne d'approvisionnement multi échelons. Le problème initial est le (ILRP) auquel nous avons intégré l'aspect production lors de l'étape de conception. Nous avons pu démontrer que lorsque la dimension de la production est négligée lors de la conception d'une chaîne logistique, le coût global augmente de 5 à 40% selon le cas. Cette perte est d'autant plus conséquente lorsque les capacités de production par période sont limitées. Nous avons proposé un modèle mathématique pour résoudre des instances de petite taille. Eventuellement, une perspective sera de proposer avec une heuristique pour résoudre des instances de grandes tailles ou une étude de cas réelle.

7 RÉFÉRENCES

Ahmadi-Javid, A. and Seddighi, A.H., 2012. A location-routing-inventory model for designing multisource distribution networks. *Engineering Optimization*, 44(6), pp.637-656.

Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G. and Løkketangen, A., 2010. Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. *Computers & Operations Research*, 37(9), pp.1515-1536.

Asadi, E., Habibi, F., Nickel, S. and Sahebi, H., 2018. A bi-objective stochastic location-inventory-routing model for microalgae-based biofuel supply chain. *Applied energy*, 228, pp.2235-2261.

Bard, J.F. and Nananukul, N., 2009. The integrated production-inventory-distribution-routing problem. *Journal of Scheduling*, 12(3), p.257.

Bard, J.F. and Nananukul, N., 2010. A branch-and-price algorithm for an integrated production and inventory routing problem. *Computers & Operations Research*, 37(12), pp.2202-2217.

Chao, C., Zhihui, T. and Baozhen, Y., 2019. Optimization of two-

stage location-routing-inventory problem with time-windows in food distribution network. *Annals of Operations Research*, 273(1-2), pp.111-134.

Darvish, M. and Coelho, L.C., 2018. Sequential versus integrated optimization: Production, location, inventory control, and distribution. *European Journal of Operational Research*, 268(1), pp.203-214.

Darvish, M. and Coelho, L.C., 2018. Sequential versus integrated optimization: Production, location, inventory control, and distribution. *European Journal of Operational Research*, 268(1), pp.203-214.

Deng, S., Li, Y., Guo, H. and Liu, B., 2016. Solving a Closed-Loop Location-Inventory-Routing Problem with Mixed Quality Defects Returns in E-Commerce by Hybrid Ant Colony Optimization Algorithm. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2016.

Drexl, M. and Schneider, M., 2013. A survey of location-routing problems. *Technical Report LM-2013-03*.

Drexl, M. and Schneider, M., 2015. A survey of variants and extensions of the location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 241(2), pp.283-308.

Ghorbani, A. and Jokar, M.R.A., 2016. A hybrid imperialist competitive-simulated annealing algorithm for a multisource multi-product location-routing-inventory problem. *Computers & Industrial Engineering*, 101, pp.116-127.

Glover, F., Jones, G., Karney, D., Klingman, D. and Mote, J., 1979. An integrated production, distribution, and inventory planning system. *Interfaces*, 9(5), pp.21-35.

Guerrero, W.J., Prodhon, C., Velasco, N. and Amaya, C.A., 2013. Hybrid heuristic for the inventory location-routing problem with deterministic demand. *International Journal of Production Economics*, 146(1), pp.359-370.

Guerrero, W.J., Prodhon, C., Velasco, N. and Amaya, C.A., 2015. A relax-and-price heuristic for the inventory-location-routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 22(1), pp.129-148.

Hiassat, A. and Diabat, A., 2011, October. A location inventory routing problem with perishable products. In *Proceedings of the 41st international conference on computers and industrial engineering* (pp. 130-135).

Hiassat, A., Diabat, A. and Rahwan, I., 2017. A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products. *Journal of manufacturing systems*, 42, pp.93-103.

J Perl, Sirisoponsilps, "Distribution networks: Facility Location, transportation and inventory," *International Journal of Physical Distribution and Material Management*, vol. 18, pp. 18-26, 1998.

Javid, A.A. and Azad, N., 2010. Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5), pp.582-597.

Kaya, O. and Urek, B., 2016. A mixed integer nonlinear programming model and heuristic solutions for location, inventory and pricing decisions in a closed loop supply chain. *Computers & Operations Research*, 65, pp.93-103.

Lei, L., Liu, S., Ruzsaczynski, A. and Park, S., 2006. On the integrated production, inventory, and distribution routing problem. *IIE Transactions*, 38(11), pp.955-970.

Liu, S.C. and Lee, S.B., 2003. A two-phase heuristic method for the multi-depot location routing problem taking inventory control decisions into consideration. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22(11-12), pp.941-950.

Liu, S.C. and Lin, C.C., 2005. A heuristic method for the combined location routing and inventory problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26(4), pp.372-381.

Ma, H. and Davidrajah, R., 2005. An iterative approach for

- distribution chain design in agile virtual environment. *Industrial Management & Data Systems*, 105(6), pp.815-834.
- Min, H., Jayaraman, V. and Srivastava, R., 1998. Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 108(1), pp.1-15.
- Nekooghadirli, N., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Ghezavati, V.R., 2014. Efficiency of a multi-objective imperialist competitive algorithm: A bi-objective location-routing-inventory problem with probabilistic routes. *Journal of AI and Data Mining*, 2(2), pp.105-112.
- Nekooghadirli, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghezavati, V.R. and Javanmard, S., 2014. Solving a new bi-objective location-routing-inventory problem in a distribution network by meta-heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 76, pp.204-221.
- Prodhon, C. and Prins, C., 2014. A survey of recent research on location-routing problems. *European Journal of Operational Research*, 238(1), pp.1-17.
- Rafie-Majid, Z., Pasandideh, S.H.R. and Naderi, B., 2018. Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with uncertainty: Lagrangian relaxation algorithm. *Computers & Chemical Engineering*, 109, pp.9-22.
- Rayat, F., Musavi, M. and Bozorgi-Amiri, A., 2017. Bi-objective reliable location-inventory-routing problem with partial backordering under disruption risks: A modified AMOSA approach. *Applied Soft Computing*, 59, pp.622-643.
- Roldan, R.F., Basagoiti, R. and Coelho, L.C., 2017. A survey on the inventory-routing problem with stochastic lead times and demands. *Journal of Applied Logic*, 24, pp.15-24.
- Sajjadi, S.R. and Cheraghi, S.H., 2011. Multi-products location-routing problem integrated with inventory under stochastic demand. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 7(4), pp.454-476.
- Salhi, S. and Rand, G.K., 1989. The effect of ignoring routes when locating depots. *European journal of operational research*, 39(2), pp.150-156.
- Saragih, N.I., Bahagia, N. and Syabri, I., 2018. A heuristic method for location-inventory-routing problem in a three-echelon supply chain system. *Computers & Industrial Engineering*.
- Shen, Z.J.M. and Qi, L., 2007. Incorporating inventory and routing costs in strategic location models. *European journal of operational research*, 179(2), pp.372-389.
- Tang, J., Ji, S. and Jiang, L., 2016. The design of a sustainable location-routing-inventory model considering consumer environmental behavior. *Sustainability*, 8(3), p.211.
- Tavakkoli-Moghaddam, R. and Raziiei, Z., 2016. A new bi-objective location-routing-inventory problem with fuzzy demands. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), pp.1116-1121.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Forouzanfar, F. and Ebrahimnejad, S., 2013. Incorporating location, routing, and inventory decisions in a bi-objective supply chain design problem with risk-pooling. *Journal of Industrial Engineering International*, 9(1), p.19.
- Vahdani, B., Veysmoradi, D., Noori, F. and Mansour, F., 2018. Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty. *International journal of disaster risk reduction*, 27, pp.290-306.
- Wang, H. and Lim, M.K., 2018. Two Stage Heuristic Algorithm for Logistics Network Optimization of Integrated Location-Routing-Inventory. In *Recent Advances in Intelligent Manufacturing* (pp. 209-217). Springer, Singapore.
- Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B. and Mohammadi, M., 2016. Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, pp.182-214.
- Zhang, B., Ma, Z. and Jiang, S., 2008, October. Location-routing-inventory problem with stochastic demand in logistics distribution systems. In *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2008. WiCOM'08. 4th International Conference on (pp. 1-4). IEEE.
- Zhang, Y., Qi, M., Miao, L. and Liu, E., 2014. Hybrid metaheuristic solutions to inventory location routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, pp.305-323.
- Zheng, X., Yin, M. and Zhang, Y., 2019. Integrated optimization of location, inventory and routing in supply chain network design. *Transportation Research Part B: Methodological*, 121, pp.1-20.
- Asadi, E., Habibi, F., Nickel, S. and Sahebi, H., 2018. A bi-objective stochastic location-inventory-routing model for microalgae-based biofuel supply chain. *Applied energy*, 228, pp.2235-2261.
- Bard, J.F. and Nananukul, N., 2009. The integrated production-inventory-distribution-routing problem. *Journal of Scheduling*, 12(3), p.257.
- Bard, J.F. and Nananukul, N., 2010. A branch-and-price algorithm for an integrated production and inventory routing problem. *Computers & Operations Research*, 37(12), pp.2202-2217.
- Chao, C., Zhihui, T. and Baozhen, Y., 2019. Optimization of two-stage location-routing-inventory problem with time-windows in food distribution network. *Annals of Operations Research*, 273(1-2), pp.111-134.
- Darvish, M. and Coelho, L.C., 2018. Sequential versus integrated optimization: Production, location, inventory control, and distribution. *European Journal of Operational Research*, 268(1), pp.203-214.
- Deng, S., Li, Y., Guo, H. and Liu, B., 2016. Solving a Closed-Loop Location-Inventory-Routing Problem with Mixed Quality Defects Returns in E-Commerce by Hybrid Ant Colony Optimization Algorithm. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2016.
- Drexel, M. and Schneider, M., 2013. A survey of location-routing problems. *Technical Report LM-2013-03*.
- Drexel, M. and Schneider, M., 2015. A survey of variants and extensions of the location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 241(2), pp.283-308.
- Ghorbani, A. and Jokar, M.R.A., 2016. A hybrid imperialist competitive-simulated annealing algorithm for a multisource multi-product location-routing-inventory problem. *Computers & Industrial Engineering*, 101, pp.116-127.
- Glover, F., Jones, G., Karney, D., Klingman, D. and Mote, J., 1979. An integrated production, distribution, and inventory planning system. *Interfaces*, 9(5), pp.21-35.
- Guerrero, W.J., Prodhon, C., Velasco, N. and Amaya, C.A., 2013. Hybrid heuristic for the inventory location-routing problem with deterministic demand. *International Journal of Production Economics*, 146(1), pp.359-370.
- Guerrero, W.J., Prodhon, C., Velasco, N. and Amaya, C.A., 2015. A relax-and-price heuristic for the inventory-location-routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 22(1), pp.129-148.
- Hiassat, A. and Diabat, A., 2011, October. A location inventory routing problem with perishable products. In *Proceedings of the 41st international conference on computers and industrial engineering* (pp. 130-135).
- Hiassat, A., Diabat, A. and Rahwan, I., 2017. A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products. *Journal of manufacturing systems*, 42, pp.93-103.
- J Perl, Sirisoponilps, "Distribution networks: Facility Location, transportation and inventory," *International Journal of Physical Distribution and Material Management*, vol. 18, pp. 18-26, 1998.

- Javid, A.A. and Azad, N., 2010. Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5), pp.582-597.
- Kaya, O. and Urek, B., 2016. A mixed integer nonlinear programming model and heuristic solutions for location, inventory and pricing decisions in a closed loop supply chain. *Computers & Operations Research*, 65, pp.93-103.
- Lei, L., Liu, S., Ruszczyński, A. and Park, S., 2006. On the integrated production, inventory, and distribution routing problem. *IIE Transactions*, 38(11), pp.955-970.
- Liu, S.C. and Lee, S.B., 2003. A two-phase heuristic method for the multi-depot location routing problem taking inventory control decisions into consideration. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22(11-12), pp.941-950.
- Liu, S.C. and Lin, C.C., 2005. A heuristic method for the combined location routing and inventory problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26(4), pp.372-381.
- Ma, H. and Davidrajah, R., 2005. An iterative approach for distribution chain design in agile virtual environment. *Industrial Management & Data Systems*, 105(6), pp.815-834.
- Min, H., Jayaraman, V. and Srivastava, R., 1998. Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 108(1), pp.1-15.
- Nekooghadirli, N., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Ghezavati, V.R., 2014. Efficiency of a multi-objective imperialist competitive algorithm: A bi-objective location-routing-inventory problem with probabilistic routes. *Journal of AI and Data Mining*, 2(2), pp.105-112.
- Nekooghadirli, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghezavati, V.R. and Javanmard, S., 2014. Solving a new bi-objective location-routing-inventory problem in a distribution network by meta-heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 76, pp.204-221.
- Prodhon, C. and Prins, C., 2014. A survey of recent research on location-routing problems. *European Journal of Operational Research*, 238(1), pp.1-17.
- Rafie-Majd, Z., Pasandideh, S.H.R. and Naderi, B., 2018. Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with uncertainty: Lagrangian relaxation algorithm. *Computers & Chemical Engineering*, 109, pp.9-22.
- Rayat, F., Musavi, M. and Bozorgi-Amiri, A., 2017. Bi-objective reliable location-inventory-routing problem with partial backordering under disruption risks: A modified AMOSA approach. *Applied Soft Computing*, 59, pp.622-643.
- Roldan, R.F., Basagoiti, R. and Coelho, L.C., 2017. A survey on the inventory-routing problem with stochastic lead times and demands. *Journal of Applied Logic*, 24, pp.15-24.
- Sajjadi, S.R. and Cheraghi, S.H., 2011. Multi-products location-routing problem integrated with inventory under stochastic demand. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 7(4), pp.454-476.
- Salhi, S. and Rand, G.K., 1989. The effect of ignoring routes when locating depots. *European journal of operational research*, 39(2), pp.150-156.
- Saragih, N.I., Bahagia, N. and Syabri, I., 2018. A heuristic method for location-inventory-routing problem in a three-echelon supply chain system. *Computers & Industrial Engineering*.
- Shen, Z.J.M. and Qi, L., 2007. Incorporating inventory and routing costs in strategic location models. *European journal of operational research*, 179(2), pp.372-389.
- Tang, J., Ji, S. and Jiang, L., 2016. The design of a sustainable location-routing-inventory model considering consumer environmental behavior. *Sustainability*, 8(3), p.211.
- Tavakkoli-Moghaddam, R. and Raziqi, Z., 2016. A new bi-objective location-routing-inventory problem with fuzzy demands. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), pp.1116-1121.
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Forouzanfar, F. and Ebrahimnejad, S., 2013. Incorporating location, routing, and inventory decisions in a bi-objective supply chain design problem with risk-pooling. *Journal of Industrial Engineering International*, 9(1), p.19.
- Vahdani, B., Veysmoradi, D., Noori, F. and Mansour, F., 2018. Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty. *International journal of disaster risk reduction*, 27, pp.290-306.
- Wang, H. and Lim, M.K., 2018. Two Stage Heuristic Algorithm for Logistics Network Optimization of Integrated Location-Routing-Inventory. In *Recent Advances in Intelligent Manufacturing* (pp. 209-217). Springer, Singapore.
- Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B. and Mohammadi, M., 2016. Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, pp.182-214.
- Zhang, B., Ma, Z. and Jiang, S., 2008, October. Location-routing-inventory problem with stochastic demand in logistics distribution systems. In *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM'08. 4th International Conference on* (pp. 1-4). IEEE.
- Zhang, Y., Qi, M., Miao, L. and Liu, E., 2014. Hybrid metaheuristic solutions to inventory location routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, pp.305-323.
- Zheng, X., Yin, M. and Zhang, Y., 2019. Integrated optimization of location, inventory and routing in supply chain network design. *Transportation Research Part B: Methodological*, 121, pp.1-20.