
Conception et gestion des indisponibilités des sites dans les chaînes logistiques

Fouad Maliki¹, Mustapha Anwar Brahami¹, Mohammed Dahane², Zaki Sari³

1. Ecole Préparatoire en Sciences et Techniques de Tlemcen
Laboratoire de productique de Tlemcen (MELT), Université de Tlemcen, Algérie
{f.maliki ; ma.brahami}@epst-tlemcen.dz
2. Laboratoire de Génie Industriel et de Production de Metz (LGIPM)
Ecole nationale d'ingénieurs de Metz (ENIM), France
dahane@enim.fr
3. Izmir University of Economics, Department of Industrial Engineering, Turkey
z_sari@mail.univ-tlemcen.dz

RÉSUMÉ. La chaîne logistique est sujette à des défaillances aléatoires causées par différents facteurs, ce qui engendre l'indisponibilité de certains sites. Dans ce sens, la gestion de ces indisponibilités s'impose comme un choix stratégique afin de garantir les seuils désirés de fiabilité et de disponibilité des différents sites de la chaîne logistique. Nous nous intéressons à deux problématiques liées au domaine des chaînes logistiques, à savoir la conception et la gestion des indisponibilités des sites logistiques. Nous considérons un réseau de distribution stochastique avec la prise en compte des décisions de sélection des fournisseurs, de localisation des centres de distribution (DC), d'affectation des détaillants et de gestion des indisponibilités des DC. Notre démarche consiste d'abord à trouver la meilleure structure de la chaîne logistique en utilisant une approche d'optimisation basée sur les algorithmes génétiques (AG) ; ensuite, de simuler le comportement de la chaîne logistique face à la présence d'éventuelles défaillances de DC. Ainsi, l'objectif de cette étape est l'optimisation de la gestion des indisponibilités. Deux stratégies sont réalisées, l'une consiste à remplacer chaque DC indisponible par le DC le plus proche, et l'autre à effectuer une réallocation en utilisant les AG. Les résultats des deux stratégies sont détaillés et comparés.

ABSTRACT. The supply chain is subject to random failures caused by different factors which cause the unavailability of some sites. In this sense, the management of these unavailabilities is becoming a strategic choice to ensure the desired reliability and availability levels of the different supply chain facilities. In this work, we treat two problems related to the field of supply chain, namely the design and unavailabilities management of logistics facilities. Specifically, we consider a stochastic distribution network with consideration of suppliers selection and distribution centres (DCs) location decisions and DCs' unavailabilities management. Our resolution approach consists firstly on define the best supply chain structure using an optimization approach based on genetic algorithms (GA), then to simulate

the supply chain performance with the presence of DCs failures. Two simulation strategies are performed, one by replace each unavailable DC by the closest DC and the other consist on performing a reallocation using GA. The obtained results of the two strategies are detailed and compared.

MOTS-CLÉS : conception de la chaîne logistique, localisation-allocation, sélection des fournisseurs, gestion des indisponibilités, algorithmes génétiques.

KEYWORDS: supply chain management, location-allocation, suppliers selection, unavailabilities management, genetic algorithms.

DOI:10.3166/JESA.49.403-424 © Lavoisier 2016

1. Introduction

Une chaîne logistique est un réseau de distribution qui assure les fonctions d'acquisition de matériaux, la transformation de ces matériaux en produits intermédiaires et finis, et la distribution de ces produits finis aux clients. Aujourd'hui, les clients exigent des produits moins chers et de haute qualité livrés dans les délais et avec un excellent service après-vente. La conception des chaînes logistiques nécessite la considération de différentes décisions réparties selon leurs influences temporelles en trois niveaux décisionnels : stratégiques, tactiques et opérationnelles.

La localisation et le choix des différentes entités (fournisseurs, usines, centres de stockage et de distribution) et les différents modes de transports utilisés est l'une des décisions stratégiques que les entreprises cherchent à optimiser en premier (Cheyroux et Di Mascolo, 2003). Cette optimisation, traditionnellement axée sur les coûts, est rendue difficile à cause de l'introduction de nouveaux critères de décision tels que la satisfaction du client (délais de livraison, qualité du produit et/ou service...), et la prise en compte explicite des différents risques (sociaux, environnementaux et économiques). Ces décisions peuvent devenir de plus en plus complexes et difficiles à gérer à cause de certains événements incertains. L'incertitude qui affecte le système peut fortement influencer sur la rentabilité de la chaîne logistique.

Dans la plupart des problèmes de gestion des chaînes logistiques (*Supply Chain Management*), les différents risques ou incertitudes pouvant affecter les réseaux/chaînes logistiques sont le plus souvent négligés. Ces risques peuvent être la conséquence d'un événement externe tel qu'une catastrophe naturelle (Tsunami), une épidémie, une guerre (invasion militaire), ou un problème interne (grève du personnel, incendie, etc.).

Une fois la structure du réseau fixée, suite à l'apparition d'un ou plusieurs événements incertains, un ou plusieurs sites (centres de production, entrepôts, centres de distribution, etc.) peuvent devenir indisponibles pour une durée souvent aléatoire. L'indisponibilité d'un centre de distribution, d'un fournisseur, etc., entraîne entre autres des pertes des demandes clients et a un impact important sur la rentabilité et la profitabilité du réseau. Par conséquent, l'indisponibilité des sites

obligera les décideurs à redéfinir une nouvelle structure du réseau logistique en utilisant des stratégies robustes permettant de remédier à ce problème de perte (clients, profits, crédibilité, etc.) (Tanonkou, 2007).

Ce travail de recherche aborde deux problèmes liés au domaine des chaînes logistiques, à savoir la conception des réseaux/chaînes logistiques et la gestion des indisponibilités des sites logistiques. Notre démarche est divisée en deux étapes distinctes. Le but de la première étape consiste à trouver la meilleure structure du réseau logistique à travers la prise en compte de trois types de décisions qui sont : localisation des centres de distribution (DC), affectation des détaillants aux DC et choix des fournisseurs. Une fois la structure du réseau définie, nous considérons dans la deuxième étape que certains DC peuvent devenir indisponibles. Ainsi, l'objectif de cette étape est l'optimisation de la gestion de ces indisponibilités.

Le reste de l'article est organisé comme suit : la section 2 présente quelques travaux dédiés aux problèmes de localisation-allocation, de sélection des fournisseurs et de fiabilité des sites logistiques. La section 3 décrit notre problématique. La section 4 présente l'approche d'optimisation et la simulation proposée. La section 5 illustre les résultats numériques obtenus et leurs analyses. La section 6 conclut l'article et présente quelques directions de recherches futures.

2. Revue de littérature

Le problème abordé dans ce travail provient principalement de trois axes de recherche, à savoir la sélection des fournisseurs, les problèmes de localisation-allocation et les problèmes de fiabilité des sites logistiques qui ont été largement abordés dans la littérature. Pourtant, peu de travaux existants considèrent ces trois décisions simultanément. Cette section résume brièvement les approches proposées et les résultats obtenus dans la littérature pour les trois problèmes cités.

Dans (Meixell et Gargeya, 2005) les auteurs présentent plusieurs travaux de recherche liés aux problèmes de conception de chaînes logistiques globales, les auteurs affirment que la communauté de recherche a abordé des problèmes difficiles de conception de chaînes logistiques, mais très peu de chercheurs intègrent les décisions stratégiques dans un même modèle. Les auteurs concluent : « il est nécessaire d'étendre les modèles existants de conception de réseaux de distribution afin d'intégrer les décisions internes liés aux sites de production et les décisions externes liés aux fournisseurs ».

Hammami (2010) présente une approche d'optimisation à deux phases pour la conception des chaînes logistiques internationales : une première phase de planification stratégique et une deuxième de planification tactique. Il considère plusieurs critères d'optimisation (facteurs internationaux) tels que le prix de transfert des activités tangibles et intangibles. Pour modéliser les prix de transfert, l'auteur utilise la méthode de partage de profit. Le modèle proposé est illustré par une étude de cas.

Dans (Bischoff et Kerstin, 2009), les auteurs considèrent une classe généralisée de problèmes de localisation-allocation avec n sites candidats. Un problème d'optimisation multidimensionnelle en nombres entiers est présenté, les auteurs comparent plusieurs méthodes pour la résolution de ce problème telles que la recherche de voisinage, la recherche tabou et les algorithmes évolutionnistes.

Shen *et al.*, (2003) et Daskin *et al.*, (2002) sont les premiers à avoir introduit de façon implicite les coûts de stockage dans un problème de localisation (FCFL). Tanonkou *et al.*, (2007) traitent un problème de conception d'un réseau de distribution stochastique où les décisions de choix des fournisseurs, de localisation des centres de distribution et d'affectation des zones de demande sont intégrées dans un même modèle d'optimisation. Le réseau étudié est composé de plusieurs fournisseurs approvisionnant, dans des délais aléatoires, un ensemble de DC à localiser. L'objectif est de choisir les meilleurs fournisseurs, les meilleures localisations des DC et les meilleures affectations des zones de demande aux centres de distribution dans le but de minimiser une fonction de coût non linéaire. Pour cela, les auteurs proposent une méthode basée sur la relaxation lagrangienne. Ce problème est traité par Maliki *et al.* (2013a) qui proposent un algorithme génétique multicritère pour sa résolution afin d'optimiser le délai de transport et une fonction orientée coût. Les mêmes auteurs étudient ce problème en utilisant différentes politiques de gestion de stocks au niveau des DC afin de voir l'impact des politiques considérées sur la structure globale de la chaîne logistique (Maliki et Sari, 2012).

Maliki *et al.*, (2010) présentent une approche hybride combinant optimisation et simulation pour la résolution d'un problème stochastique de localisation des DC et de choix de fournisseurs avec répartition des ordres d'approvisionnement sur les différentes connexions de transport (liaisons utilisant différents modes de transport) reliant les fournisseurs aux DC.

Motivé par la réduction des aléas et l'amélioration du service clients, nombreuses sont les entreprises qui s'intéressent à l'approvisionnement multiple, c'est-à-dire au fait de s'engager avec plusieurs fournisseurs en même temps. Lors de la conception de toute chaîne logistique, trouver une méthode/approche de sélection des fournisseurs est d'une importance cruciale. Selon De Boer *et al.*, (2001) la sélection des fournisseurs passe par quatre étapes : la définition du problème, la sélection des critères d'évaluation des fournisseurs, la préqualification des fournisseurs et leur sélection finale. Les auteurs présentent dans ce travail quelques méthodes résolvant le problème de sélection des fournisseurs et discutent des différents travaux intéressés à ce problème. Ils répartissent les travaux par rapport aux différentes étapes du cycle présenté et affirment que la majorité des chercheurs s'intéressent à la dernière étape de ce cycle.

La décision de sélection des fournisseurs est compliquée du fait que plusieurs critères d'ordre qualitatif et quantitatif doivent être considérés. Pour plus de détails sur les travaux de recherche existants sur ce sujet, le lecteur peut consulter le travail de Jain *et al.*, (2009) dans lequel les auteurs présentent un état de l'art complet sur le problème de sélection des fournisseurs, et décrivent les différentes étapes prises en considération dans le cycle de sélection des fournisseurs et les différents critères

utilisés pour l'évaluation des performances des fournisseurs. De plus, les auteurs recensent les caractéristiques de ce problème ainsi que les différentes méthodes existantes dans la littérature permettant de le résoudre.

L'objectif de ce travail est d'intégrer les décisions de localisation-allocation et de choix de fournisseurs dans un même modèle avec la prise en compte des indisponibilités des sites logistiques. Notons que très peu de travaux couplent ces décisions dans un même modèle et abordent le problème de fiabilité dans la conception des chaînes logistiques.

Simchi-Levi *et al.*, (2002) présentent des arguments convaincants que les chaînes logistiques sont particulièrement vulnérables aux perturbations intentionnelles ou accidentelles et suggèrent des approches pour réduire ces perturbations. Toutefois, les auteurs ne présentent pas de modèles quantitatifs pour résoudre ces problèmes.

Snyder (2006) présente un état de l'art détaillé sur les problèmes de localisation-allocation stochastiques et robustes ; l'auteur illustre la variété des approches d'optimisation sous incertitude existantes dans la littérature et leur application aux problèmes de localisation allocation.

Snyder et Daskin (2003) présentent des modèles de localisation-allocation basés sur le problème Median et le problème (UFLP). L'objectif est de minimiser les coûts de transport en tenant compte des coûts de transport engendrés en cas d'indisponibilité des sites. Les auteurs présentent une relaxation lagrangienne pour la résolution de ces problèmes.

Maliki *et al.*, (2013b) considèrent le même réseau de distribution de la référence (Maliki et Sari, 2012) avec une prise en compte de la maintenance des DC. Les auteurs proposent un algorithme génétique monocritère pour la définition de la meilleure structure de la chaîne logistique. Ensuite, une simulation du comportement de la chaîne logistique face à la présence d'éventuelles défaillances de DC est réalisée. Deux stratégies de simulation sont élaborées, l'une intégrant une politique de maintenance et l'autre sans politique de maintenance. Les résultats des deux stratégies sont détaillés et comparés, démontrant l'intérêt et les performances de la stratégie intégrant la politique de maintenance.

Tanonkou (2007) traite le problème de conception d'un réseau de distribution avec des sites non fiables. L'auteur propose deux modèles de conception différents avec une approche de résolution basée sur la méthode de relaxation lagrangienne combinée avec la méthode d'optimisation Monte Carlo. Le premier modèle concerne un réseau de distribution monofournisseur/monoproduit avec indisponibilités des DC, et le deuxième modèle est un réseau de distribution multifournisseur/monoproduit avec indisponibilités des fournisseurs. Dans ses travaux, Tanonkou (2007) considère que les sites indisponibles sont définitivement perdus, ce qui n'est pas le cas de notre problématique, où nous considérons que les DC peuvent devenir indisponibles pendant une certaine durée et redeviennent opérationnels par la suite.

3. Problématique considérée

3.1. Hypothèses

Notre étude est basée sur une chaîne logistique composée d'un ensemble de fournisseurs potentiels reliés à un ensemble de détaillants, chaque détaillant est identifié par sa zone de localisation (ville ou région) où chaque zone est une zone potentielle de localisation de DC. Chaque zone de demande effectue une demande aléatoire pour un seul type de produit qui est satisfaite par les DC localisés. Chaque DC utilise la politique de la quantité économique (EOQ) pour la gestion de son stock et maintient un stock de sécurité pour garantir un certain service client. Nous nous limitons au cas où une seule connexion de transport relie chaque couple de détaillants sans prise en compte du délai de transport. La figure 1 illustre la structure globale de la chaîne logistique considérée.

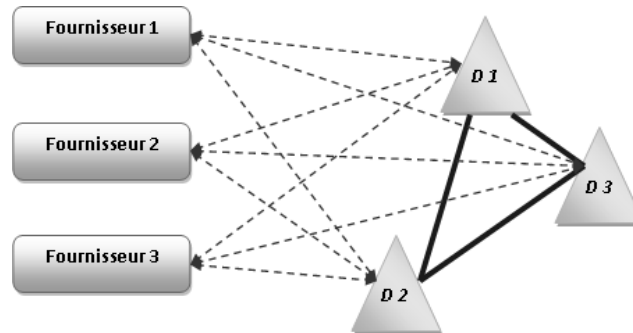


Figure 1. Structure de la chaîne logistique étudiée

Nous supposons que la chaîne logistique fait face à des défaillances de DC qui les rendent indisponibles. La nature de ces indisponibilités est d'origine diverse : catastrophes naturelles, indisponibilité du chemin de transport, grève du personnel, acte terroriste ou sabotage, etc. Toutefois, la chaîne logistique devrait être robuste et redessinée chaque fois qu'une défaillance de DC se produit.

Notre démarche de résolution est divisée en deux étapes distinctes E_1 et E_2 . Le but de la première étape consiste à trouver la meilleure structure de la chaîne logistique en supposant que tous les DC sont opérationnels. Par contre, durant la seconde étape, un ou plusieurs DC peuvent devenir indisponibles, l'objectif de cette étape est l'optimisation de la gestion de ces indisponibilités.

Dans un premier temps, la résolution du problème consiste pendant l'étape E_1 en la prise de trois types de décisions qui sont : localisation des DC, affectation des détaillants aux DC et choix des fournisseurs. Ces trois premières décisions sont obtenues en considérant l'existence d'une seule et unique liaison de transport entre chaque couple fournisseur/DC. Ce problème est résolu en utilisant un algorithme

génétique (Maliki *et al.*, 2013a ; 2013b). Cet algorithme permet d'obtenir la meilleure structure de notre réseau de distribution.

Partant de la structure de la chaîne logistique obtenue durant la première étape, nous simulons le comportement de cette chaîne pendant la seconde étape E_2 , et ceci face à la présence d'éventuelles défaillances d'un ou plusieurs DC. Nous supposons, que les DC ne peuvent pas être indisponibles simultanément. Le but de cette étape est d'optimiser la gestion des indisponibilités des DC tout en minimisant le coût total généré. L'approche de simulation utilisée dans l'étape E_2 . consiste à simuler deux stratégies différentes :

1. Dans la première stratégie, chaque DC indisponible sera remplacé par le DC le plus proche pendant sa durée d'indisponibilité. Le DC le plus proche est le DC qui présente le coût de livraison minimal.

2. La deuxième stratégie consiste à effectuer (à chaque indisponibilité d'un DC) une réallocation en utilisant une optimisation par algorithme génétique (AG). La réallocation revient à exécuter l'AG en considérant uniquement les détaillants concernés par l'indisponibilité ainsi que les DC opérationnels.

La comparaison entre les deux stratégies nous permettra de mettre en évidence les gains engendrés avec la deuxième stratégie par rapport à la première.

3.2. Notations et variables utilisées

Pour la formulation mathématique du problème étudié, nous utilisons les variables et les notations suivantes.

3.2.1. Notations

I : Ensemble des zones de demandes (détaillants) indexés par i ;

K : Ensemble des fournisseurs indexés par k ;

DC_j : Centre de distribution localisé dans la zone de demande j ;

μ_i : Demande globale générée par le détaillant i ;

D_j : Demande moyenne journalière du DC_j ;

σ_i^2 : Variance de la demande journalière générée par le détaillant i ;

f_j : Coût fixe de localisation du DC_j ;

d_{ij} : Coût de livraison unitaire du DC_j vers le détaillant i ;

h_j : Coût de stockage annuel (par unité de produit) dans le DC_j ;

F_{jk} : Coût fixe de commande (inclus coût fixe de transport) placée par le DC_j auprès du fournisseur k ;

a_{jk} : Coût unitaire d’approvisionnement (prix d’achat et de transport) du DC_j auprès du fournisseur k ;

L_{jk} : Délai moyen d’approvisionnement en jours du DC_j auprès du fournisseur k ;

λ_{jk}^2 : Variance du délai d’approvisionnement du DC_j auprès du fournisseur k ;

α : Niveau de service dans les centres de distribution ;

Z_α : Coefficient de sécurité tel que $P(Z \leq Z_\alpha)$;

$C_{\text{Indispo } j}$: Coût total d’indisponibilité du DC_j ;

$\Phi_j(E_2)$: Nombre d’indisponibilités du DC_j pendant l’étape E_2 ;

$M_{\text{Indispo } j}$: Coût moyen d’une indisponibilité du DC_j ;

$C(E_1)$: Coût global généré pour l’étape E_1 ;

$C(E_2)$: Coût global généré pour l’étape E_2 ;

$CGI(E_2)$: Coût de gestion des indisponibilités durant l’étape E_2 .

3.2.2. Variables de décision

$X_j = \{1 \text{ si le } DC_j \text{ est localisé; } 0 \text{ sinon}\}$

$Y_{ij} = \{1 \text{ si le détaillant } i \text{ est servi par le } DC_j; 0 \text{ sinon}\}$

$Z_{jk} = \{1 \text{ si le fournisseur } k \text{ est sélectionné pour approvisionner le } DC_j; 0 \text{ sinon}\}$

3.3. Formulation mathématique

En se basant sur la référence (Tanonkou *et al.*, 2007), nous présentons dans cette section la formulation mathématique de notre problématique. Durant la première étape, la résolution du problème nous permet de déterminer les variables de décisions X_j , Y_{ij} et Z_{jk} et par conséquent la structure de notre chaîne logistique (Maliki et Sari, 2012). Ainsi, la formulation mathématique du problème de la première étape se présente comme suit :

$$(MF) J^* = \min_{X,Y,Z} J(X, Y, Z)$$

où $J(X, Y, Z)$ est défini par :

$$J(X, Y, Z) = \sum_{j \in I} f_j X_j + \sum_{j \in I} \sum_{i \in I} \mu_i d_{ij} Y_{ij} + \sum_{j \in I} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \mu_i a_{jk} Y_{ij} Z_{jk} + \sum_{j \in I} \sum_{k \in K} \sqrt{2h_j F_{jk}} \sum_{i \in I} \mu_i Y_{ij} Z_{jk}$$

$$+ \sum_{j \in I} \sum_{k \in K} Z_{\alpha} h_j \sqrt{L_{jk} \sum_{i \in I} \sigma_i^2 Y_{ij} + \lambda_{jk}^2 D_j^2 Z_{jk}} \quad (1)$$

Avec les contraintes suivantes :

$$\sum_{j \in I} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} Z_{jk} = X_j \quad \forall j \in I \quad (3)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j \in I \quad (4)$$

$$X_j, Y_{ij}, Z_{jk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in I \forall k \in K \quad (5)$$

La fonction objectif (1) représente la somme des coûts de localisation, livraison, approvisionnement, stockage et commande ainsi que les coûts de maintien des stocks de sécurité. La contrainte (2) exige que chaque détaillant soit servi par un et un seul DC localisé. La contrainte (3) assure que l'approvisionnement de chaque DC ouvert se fait par un et un seul fournisseur. La contrainte (4) assure que les détaillants ne sont servis que par les DC ouverts. La nature binaire des différentes variables de décision est exprimée par la contrainte (5).

4. Approche de résolution

4.1. Localisation des DC et choix de fournisseurs (étape E1)

Pour la résolution du problème (MF) durant la première étape E_1 , nous utilisons un algorithme génétique pour déterminer la meilleure structure de la chaîne étudiée. Dans notre cas, une solution candidate est composée de valeurs binaires 0 ou 1, où chaque chromosome est constitué de trois parties. La première partie représente la localisation des DC, la seconde partie l'allocation des détaillants aux DC et la troisième partie représente l'affectation des DC aux fournisseurs. Pour chaque solution candidate, nous calculons sa fitness pour obtenir le coût total généré en utilisant l'équation (1) (voir section 3.3).

Dans notre algorithme génétique, un chromosome représente la structure de la chaîne logistique, il est composé de trois parties correspondants aux trois variables de décision X_j , Y_{ij} et Z_{jk} (voir section 3.2). Ainsi, une représentation en nombres entiers est utilisé où chaque gène peut avoir la valeur 0 ou 1. Un exemple de chromosome correspondant à un problème avec 4 détaillants (nous avons 4 DC

candidats situés dans les mêmes régions que les détaillants) et 3 fournisseurs potentiels est illustré à travers la figure 2.

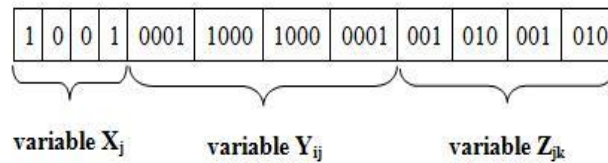


Figure 2. Exemple de chromosome

Les différentes étapes de l’algorithme génétique utilisé se présentent comme suit.

Algorithme 1. Algorithme génétique utilisé

-
- 1 : **Etape 1.** Générer la population initiale P de taille N aléatoirement.
 - 2 : **Etape 2.** Evaluer toutes les solutions dans P .
 - 3 : **Etape 3.** Sélectionner les deux parents en utilisant la « sélection binaire par tournoi ». Elle consiste à tirer au hasard deux solutions de la population P puis sélectionner la solution possédant la meilleure fitness.
 - 4 : **Etape 4.** Générer deux solutions enfants par le croisement des deux solutions parents avec une probabilité P_c .
 - 5 : **Etape 5.** Exécuter l’opérateur de mutation avec une probabilité P_m pour chaque solution enfant.
 - 6 : **Etape 6.** Exécuter une fonction de correction pour les solutions infaisables qui ne respectent pas les contraintes du modèle proposé.
 - 7 : **Etape 7.** Ajouter les deux solutions enfants dans la population suivante G .
 - 8 : **Etape 8.** Répéter les étapes de 3 à 7 jusqu’à l’obtention de N solutions enfants dans G .
 - 9 : **Etape 9.** Répéter les étapes de 2 à 8 jusqu’à la satisfaction des conditions d’arrêt.
-

4.2. Gestion des indisponibilités des DC (étape E2)

Pour la deuxième étape E_2 , un ou plusieurs DC peuvent devenir indisponibles. Dans cette étape, nous simulons deux stratégies différentes. Pour la première stratégie, chaque DC indisponible sera remplacé par le DC le plus proche. Le DC remplaçant satisfait les demandes des détaillants affectés au DC remplacé pendant son indisponibilité. Pour la deuxième stratégie et pour chaque indisponibilité d’un DC, une nouvelle allocation (ou réallocation) est effectuée pour les détaillants concernés par l’indisponibilité, ceci revient à exécuter le même AG de la première période mais en considérant que les DC opérationnels et les détaillants affectés par

l'indisponibilité. À travers la comparaison des deux stratégies, nous prouvons que la deuxième stratégie est plus avantageuse que la première en termes de coûts générés.

Durant l'étape E_2 et pour les deux stratégies proposées, le coût global engendré (coût total d'exploitation de la chaîne logistique) est égal à la somme des coûts de livraison, coûts d'approvisionnement, coûts de stockage et de maintien de stock de sécurité ainsi que les coûts des indisponibilités des DCs. Aucun coût de localisation (coût d'investissement) ne sera généré durant la deuxième étape, du moment où il n'y aura pas de nouvelles localisations de DC.

Le coût d'indisponibilité pour chaque DC_j et pour les deux stratégies est calculé comme suit :

$$C_{\text{Indispo } j} = \Phi_j(E_2)M_{\text{Indispo } j} \quad (6)$$

où,

$C_{\text{Indispo } j}$: Coût total d'indisponibilité du DC_j ;

$\Phi_j(E_2)$: Nombre d'indisponibilités du DC_j pendant l'étape E_2 ;

$M_{\text{Indispo } j}$: Coût moyen d'une indisponibilité du DC_j .

Le coût de gestion des indisponibilités pour les deux stratégies à l'issue de l'étape E_2 est égal à :

$$CGI(E_2) = C(E_2) - C(E_1) \quad (7)$$

où,

$C(E_1)$: Coût global généré durant l'étape E_1 ;

$C(E_2)$: Coût global généré durant l'étape E_2 ;

$CGI(E_2)$: Coût de gestion des indisponibilités durant l'étape E_2 .

5. Résultats obtenus et analyse

Pour évaluer les performances de notre approche, nous avons étudié des instances de différentes tailles. Ces instances sont obtenues en variant le nombre de fournisseurs potentiels et le nombre de détaillants qui représente en même temps le nombre de DC candidats. Durant la seconde étape, pour chaque instance nous considérons 5 scénarios différents liés aux indisponibilités des DC (nombres, instants et durées d'indisponibilités). Les expériences numériques sont effectuées en utilisant un core i5-2410M 2.3 GHZ de 4 GB de RAM. Notons que les programmes de simulation des deux étapes sont implémentés en langage « VBA ». Les paramètres utilisés sont présentés comme suit :

Nombre de détaillants (#D) : nous avons considéré des problèmes avec 10, 15 et 20 détaillants. Notons que chaque zone contenant un détaillant est une zone potentielle de sélection de DC.

Nombre de fournisseurs (#F) : nous avons considéré des problèmes constitués de 4, 7 et 10 fournisseurs potentiels.

Demandes des détaillants : pour chaque détaillant, la moyenne de la demande μ_i est discrétisée à travers le temps t , tel que $\mu_i(t) \sim U [100, 1600]$.

Délais de livraison : pour chaque DC candidat, la moyenne du délai de livraison est générée aléatoirement tel que $L_{jk} \sim U [10, 30]$.

L'écart type des demandes et des délais de livraison : sont générés aléatoirement tel que $\sigma_i \sim U [50, 100]$ et $\lambda_j \sim U [5, 10]$.

Coûts fixes de localisation (f_j), coûts de transport (a_{jk}) et coûts de livraison (d_{ij}) : ces paramètres sont générés suivant des lois uniformes telles que $f_j \sim U [4500, 10000]$, $a_{jk} \sim U [2, 10]$ et $d_{ij} \sim U [1, 5]$.

Niveau de service : $\alpha = 97.5\%$ pour $Z\alpha = 1.96$ pour tous les problèmes étudiés.

Coût de stockage annuel par unité de produit (h_j) : valeur constante pour tous les DC égale à 25.

Coût fixe de commande (F_j) : valeur constante pour tous les DC égale à 50.

Coût moyen d'une indisponibilité ($M_{\text{Indispo } j}$) : ce coût est généré suivant une loi uniforme pour chaque DC, tel que $M_{\text{Indispo } j} \sim U [1000, 5000]$.

Durée moyenne entre deux indisponibilités (DMEI) et durée moyenne d'une indisponibilité (DMI) : sont générés suivant des lois uniformes pour chaque DC, tel que $DMEI \sim U [100, 250]$ et $DMI \sim U [15, 30]$.

Périodes de simulation (E_1, E_2) : nous avons considéré 1250 jours ouvrables (5 ans) pour chaque étape.

Les différents paramètres de l'algorithme génétique utilisé dans la première étape et la deuxième stratégie de la seconde étape sont fixés comme suit :

- Taille de la population : $N = 20$;
- Probabilité de croisement : $0.25 \leq Pc \leq 0.95$;
- Probabilité de mutation : $0.05 \leq Pm \leq 0.1$;
- Nombre d'itérations : $NI = 20$.

Les résultats obtenus pour chaque instance de notre problème sont mentionnés dans le tableau 1. Ces résultats représentent la structure de la chaîne logistique (DCs localisés et fournisseurs sélectionnés) ainsi que le coût global engendré à l'issue de la première étape. Les résultats de la seconde étape concernent la comparaison de la moyenne des coûts de gestion des indisponibilités entre les deux stratégies obtenus après la simulation de 5 scénarios différents.

Tableau 1. Résultats obtenus

Étape 1					Étape 2		
					Stratégie 1	Stratégie 2	Gains
#D	#F	#DC	#S	$C(E_1)$	$CGI(E_2)$	$CGI(E_2)$	
10	4	2	2	38.55	4.33	3.01	30.42 %
		3	3	45.69	7.47	5.49	20.48 %
		4	3	57.13	10.67	9.82	7.96 %
15	7	5	3	90.73	9.59	5.33	44.24 %
		6	5	96.51	8.46	4.78	43.49 %
		7	4	106.73	13.26	10.93	17.57 %
20	10	8	5	109.50	13.91	11.46	17.61 %
		8	7	118.21	17.69	15.39	13.01 %
		10	8	129.40	19.52	14.13	27.61 %

– #DC : nombre de DC localisés.

– #S : nombre de fournisseur sélectionnés.

– $C(E_1)$: coût global moyen généré durant la première étape E_1 (voir section 3.3).

– $CGI(E_2)$: moyenne des coûts de gestion des indisponibilités générés durant l'étape E_2 (voir section 4.2).

– Gains : gain en termes de coût de gestion des indisponibilités entre les deux stratégies.

– Les coûts sont exprimés en million d'unité d'argent (ua).

À partir du tableau 1, nous constatons pour la première étape que le coût global engendré est en constante augmentation par rapport au nombre de DC localisés et de fournisseurs sélectionnés. Il est clair aussi que dans la seconde étape, les coûts de gestion des indisponibilités obtenus par la deuxième stratégie sont inférieurs par rapport à ceux obtenus avec la première stratégie, avec des pourcentages de gains allant de 8 % à 44 %.

Les résultats obtenus montrent que l'optimisation de la gestion des indisponibilités en utilisant les algorithmes génétiques est meilleure par rapport à celle de l'heuristique utilisée dans la première stratégie.

6. Conclusions et perspectives

Dans cet article, nous avons étudié un problème de localisation-allocation et sélection de fournisseurs avec la prise en compte des indisponibilités des DC. Dans un premier temps, nous avons utilisé une approche d'optimisation basée sur les

algorithmes génétiques pour résoudre un problème de conception d'un réseau stochastique de distribution où les décisions stratégiques de choix des fournisseurs, de localisation des centres de distribution et d'allocation des détaillants sont intégrées dans un même modèle d'optimisation. Ensuite, une simulation de la chaîne logistique considérée a été réalisée face à la présence d'éventuelles indisponibilités de DC. L'objectif de cette étape est d'optimiser la gestion des indisponibilités des DC tout en minimisant le coût total généré. Pour cela, deux stratégies de simulation ont été réalisées : l'une consiste à remplacer chaque DC indisponible par le DC le plus proche, et l'autre à effectuer une réallocation par algorithme génétique. La comparaison entre les deux stratégies a permis de montrer à travers les gains engendrés que la stratégie basée sur les algorithmes génétiques offre de meilleures performances en termes de gestion des indisponibilités des DC.

Ce travail nous a permis de dégager plusieurs directions de recherche futures. La plus immédiate est de considérer d'autres métaheuristiques pour l'optimisation de la gestion des indisponibilités. Enfin et dans un avenir à moyen terme, il est possible de développer une approche d'optimisation intégrée permettant de considérer la conception de la chaîne logistique ainsi que la gestion des indisponibilités des sites dans un même modèle d'optimisation. Il est aussi possible d'étendre la problématique à une approche intégrant la maintenance. Dans ce sens, une politique de maintenance des DC pourra être envisagée afin de réduire le nombre de défaillances et ainsi améliorer la gestion des indisponibilités des DC.

Bibliographie

- Bischoff M. and Kerstin D. (2009). Allocation search methods for a generalized class of location-allocation problems. *European Journal of Operational Research*, Vol. 192, pp. 793-807.
- Cheyrux L., Di Mascolo M. (2003). Caractéristiques des chaînes logistiques dans la littérature. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, Vol 37, n°10/2003, pp. 1201-1227, doi:10.3166/jesa.37.1201-1227.
- Daskin M. S., Coullard C. and Shen Z. J. M. (2002). An inventory-Location Model: Formulation, Solution Algorithms and Computational results. *Annals of Operations Research*, 110, pp. 83-106.
- De Boer L., Labro E. and Morlacchi P.(2001).A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7, pp. 75-89.
- Hammami R. (2010). Modèles d'optimisation pour la conception des chaînes logistiques internationales. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, Vol 44, n°7/2010, pp. 791-810 - doi:10.3166/jesa.44.791-810.
- Jain V., Benyoucef L. and Deshmukh S.G. (2009). Strategic supplier selection: some emerging issues and challenges. *Int. J. Logistics Systems and Management*, vol. 5, n°1-2, pp. 61-88.
- Maliki F., Benyoucef L. et Sari Z. (2010). Une approche d'optimisation basée sur la simulation pour la conception d'un réseau de distribution stochastique multi fournisseurs.

Proceedings of the 8^e conférence internationale de modélisation et simulation (MOSIM'10), Hammamet, Tunisie, p. 1916-1925.

- Maliki F. and Sari Z. (2012). Etude comparative des politiques de gestion de stock lors de la conception des chaînes logistiques. *Proceedings of the 9^e conférence internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation (MOSIM'12)*, Bordeaux, France.
- Maliki F., Sari Z. and Souier M. (2013). Resolution of stochastic supply chain design problem by metaheuristic. *The international conference Control, Decision and Information Technologies*, Hammamet, Tunisie.
- Maliki F., Brahami M. A. and Dahane M. (2013). Optimisation du problème de localisation et sélection des fournisseurs sous contrainte de maintenance. *8^e Conférence internationale de Conception & Production Intégrées*, Tlemcen, Algérie.
- Meixell M.J. and Gargeya V.B. (2005). Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research, Part E*, 41: 531-550.
- Shen Z. J. M., Coullard C. and Daskin M. S. (2003). A Joint Location-Inventory Model. *Transportation Science*, 37(1), pp. 40-55.
- Simchi-Levi D., Snyder L. V. and Watson M. (2002). Strategies for Uncertainty times. *Supply Chain management Review*, Vol 6 n° 1, pp. 11-12.
- Snyder L. V. and Daskin M. S. (2003). Reliability Models for Facility Location: the expected failure case. *Presented at the INFORMS workshop on "Managing Risk in an Uncertain World" Northwestern University, Evanston, Illinois, États-Unis.*
- Snyder L. V. (2006). Facility location under uncertainty: a review. *IIE Transactions*, 38:7, pp. 547-564.
- Tanonkou G. A., Benyoucef L. and Xie X. (2007). Joint Facility Location and Supplier Selection Decisions of distribution Networks with Random Supply Lead Time. *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM 2007)*, Pékin, Chine, p. 1-10.
- Tanonkou G. A. (2007). *Une approche par relaxation lagrangienne pour l'optimisation d'un réseau de distribution : modèles stochastiques et fiables*. Thèse de doctorat, Université Paul Verlaine de Metz, France.

Article reçu le 16 mai 2015

Article accepté le 7 octobre 2015

