

Gestion des indisponibilités des sites intégrée à un problème de conception de chaîne logistique

^aFouad MALIKI, ^bMustapha Anwar BRAHAMI

Manufacturing Engineering Laboratory of Tlemcen (MELT), Abou Bekr Belkaid University, P.B 119 chetouane, Tlemcen 13000, Algeria.

Ecole préparatoire en sciences et techniques Tlemcen, P.B 165 RP Bel horizon, Tlemcen 13000, Algeria.

^af_maliki@mail.univ-tlemcen.dz, ^f.maliki@epst-tlemcen.dz,

^bma.brahami@epst-tlemcen.dz

^cMohammed DAHANE, ^dZaki SARI

^cEcole Nationale d'Ingénieurs de Metz (ENIM), Laboratoire de Génie Industriel et de Production de Metz (LGIPM), Bureau B015 - 1, route d'Ars Laquenexy CS65820 57078, Metz Cedex 3, France.

^dDepartment of Industrial Engineering, Izmir University of Economics, Izmir 35330, Turkey.

^cdahane@enim.fr, ^dz_sari@mail.univ-tlemcen.dz

Résumé—Une chaîne logistique est un ensemble de sites reliés entre eux dans le but est de fournir des produits aux clients. 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. Dans ce travail, nous traitons un problème de conception de chaînes logistiques avec la prise en compte de l'indisponibilité d'un ou plusieurs sites. Nous considérons alors un réseau de distribution stochastique avec une prise en compte intégrée des décisions de sélection des fournisseurs, de localisation des centres de distribution (DCs), d'affectation des détaillants et de gestion des indisponibilités des DCs. Deux stratégies de simulation sont réalisées, dans la première notre étude est effectué sur deux étapes, notre démarche consiste d'abord à trouver la structure optimale 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 DCs. La deuxième stratégie consiste à considérer le problème de conception de la chaîne logistique et de gestion des défaillances de DCs dans un même modèle, ce problème est résolu en utilisant un AG. Notons que dans les deux approches proposées, chaque DC indisponible est remplacé par un autre DC opérationnel en effectuant une réallocation basée sur un AG. Les résultats des deux stratégies sont détaillés et comparés.

Mots clés—conception de chaîne logistique; localisation-allocation ; choix de fournisseurs ; algorithme génétique.

I. 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. Comme la complexité technologique a augmenté, la conception des chaînes logistiques est devenue de plus en plus complexe et dynamique. Augmenter la flexibilité est nécessaire pour rester compétitif et répondre à l'évolution rapide des marchés [1].

Aujourd'hui, les clients exigent des produits moins chers et de haute qualité livrés dans les délais et avec un excellent

service après-vente. Du point de vue des entreprises, les clients s'avèrent de plus en plus influents en termes d'achat et de pouvoir de négociation. Par conséquent, les entreprises doivent coopérer et de coordonner avec les fournisseurs afin de maximiser la productivité à moindre coût tout en satisfaisant les exigences des clients. 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. 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 conception des réseaux de distribution, les différents risques ou incertitudes pouvant affecter le réseau sont le plus souvent négligés. Ces risques peuvent entraîner l'indisponibilité d'un site (centre de distribution, fournisseurs, etc.) et peuvent être la conséquence d'un événement externe tel qu'une catastrophe naturelle (Tsunami), une épidémie, une guerre (invasion militaire), ou un problème interne tel qu'un incendie. L'indisponibilité d'un ou plusieurs sites logistique a des conséquences désastreuses sur l'ensemble du système et entraîne des pertes liées à la demande des clients et autres pertes telles que le manque des matières premières et des modes de transport moins avantageux. Pour cela, il est indispensable de tenir compte de ces risques et incertitudes lors de la modélisation et résolution des problèmes de conception afin d'approcher le plus possible la réalité [2].

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. La section 3 décrit notre problématique. La section 4 présente les approches de résolution proposées. La section 5 illustre les résultats numériques obtenus et leurs analyses. La section 6 conclut l'article et présente quelques directions de recherches futures.

II. ETAT DE L'ART

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. Et malgré, très 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 précédemment.

Meixell et Gargeya présentent plusieurs travaux de recherche qui se sont intéressés aux problèmes de conception de chaînes logistiques globales [3], 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 ont conclu que: «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».

Dans [4], 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 tel que la recherche de voisinage, la recherche tabou et les algorithmes évolutionnistes.

Shen et Daskin [5] [6] sont les premiers à avoir introduit de façon implicite les coûts de stockage dans un problème de localisation (FCFL). Tanonkou et al. [7] 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 DCs à localiser. L'objectif est de choisir les meilleurs fournisseurs, les meilleures localisations des DCs 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 Sari [8] qui propose un algorithme génétique multicritères 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 DCs afin de voir l'impact des politiques considérées sur la structure globale de la chaîne logistique [9].

Maliki et al. [10] présentent une étude de sensibilité de certains paramètres sur la structure globale de la chaîne logistique obtenue. Plus précisément, les auteurs ont étudié

l'impact des coûts de transport, des coûts de stockage et des variances de la demande client et du délai de livraison sur la structure globale de la chaîne logistique. Les auteurs ont conclu que le nombre de DCs ouverts augmente lorsque les coûts de transport et de stockage augmentent et que ce nombre diminue lorsque la variance des demandes clients et des délais de livraison augmente.

Motivé par la réduction des aléas et l'amélioration du service clients, nombreuses sont les entreprises qui s'intéressent à l'approvisionnement multiples, c'est à dire à 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. [11] la sélection des fournisseurs passe par quatre étapes : la définition du problème, la sélection des critères d'évaluation des fournisseurs, la pré-qualification 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 de natures qualitatives et quantitatives 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. [12] 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.

Dans la référence [13], les auteurs présentent des arguments convaincants que les chaînes logistiques sont particulièrement vulnérables aux perturbations intentionnelles ou accidentelles et suggère des approches possibles pour réduire ces perturbations. Toutefois, les auteurs ne présentent pas de modèles quantitatifs pour résoudre ces problèmes.

Snyder [14] 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 [15] 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. [16] considèrent le même réseau de distribution de la référence [8] avec une prise en compte de la maintenance des DCs. Les auteurs proposent un algorithme génétique mono critère pour la définition de la structure optimale de la chaîne logistique. Ensuite, une simulation du comportement de la chaîne logistique face à la présence d'éventuelles défaillances de DCs 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 et al. traitent le problème de conception d'un réseau de distribution avec des sites non fiables [2]. Les auteurs proposent 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 mono fournisseur/mono produit avec indisponibilités des DCs [17], et le deuxième modèle est un réseau de distribution multi fournisseurs/mono produit avec indisponibilités des fournisseurs [18]. Dans leurs travaux, les auteurs considèrent que les sites indisponibles sont définitivement perdus, ce qui n'est pas le cas de notre problématique, ou nous considérons que les DCs peuvent devenir indisponibles pendant une certaine durée et redeviennent opérationnels par la suite.

Maliki et al. considèrent un problème de conception de chaîne logistique avec gestion des indisponibilités des sites, les auteurs proposent deux modèles de conception différents, le premier modèle concerne un réseau de distribution mono fournisseur avec un problème de localisation-allocation [19] et le deuxième modèle est un réseau de distribution multi fournisseurs intégrant les décisions de localisation des DCs et de sélection des fournisseurs [20]. La résolution de ces problèmes consiste à définir dans un premier temps la structure optimale de la chaîne logistique en utilisant un algorithme génétique (AG); et de simuler les performances de la chaîne avec la présence des indisponibilités temporaires des DCs. Pour ce faire deux stratégies sont proposées, une consiste à remplacer chaque DC indisponible par le DC le plus proche et l'autre consiste à effectuer une réallocation en utilisant le même algorithme génétique.

III. PROBLEMATIQUE CONSIDEREE

A. Hypothèses

L'étude présentée dans ce travail de recherche 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 DCs. Chaque zone de demande effectue une demande aléatoire pour un seul type de produit qui est satisfaite par les DCs 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.

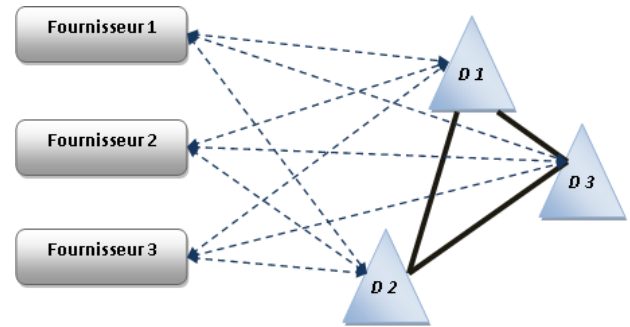


Figure 1. Structure de la chaîne logistique étudiée.

Nous supposons que la chaîne logistique fait face à des défaillances de DCs 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 produise.

Deux approches de résolution de ce problème sont proposées, la première est divisée en deux étapes distinctes E_1 et E_2 . Le but de la première étape consiste à trouver la structure optimale de la chaîne logistique en supposant que tous les DCs sont opérationnels. Par contre, durant la seconde étape, un ou plusieurs DCs 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 DCs, affectation des détaillants aux DCs et choix des fournisseurs. Ce problème est résolu en utilisant un algorithme génétique [8] et [16]. Cet algorithme permet d'obtenir la structure optimale 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 DCs. Le but de cette étape est d'optimiser la gestion des indisponibilités des DCs tout en minimisant le coût global généré.

La deuxième approche consiste à définir la structure optimale de la chaîne étudiée et de simuler ses performances avec la présence des défaillances des DCs simultanément afin de minimiser le coût total généré. Notons qu'à chaque indisponibilité d'un DC une réallocation en utilisant une optimisation par algorithme génétique (AG) est utilisée pour son remplacement. La réallocation revient à exécuter l'AG en considérant uniquement les détaillants concernés par l'indisponibilité ainsi que les DCs 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.

B. Notations et variables utilisées

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

Les notations utilisées sont:

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 $P(Z \leq z_\alpha)$;

$C(E_1)$: Coût global généré dans l'étape E_1 pour l'approche non-intégrée;

$C(E_2)$: Coût global généré dans l'étape E_2 pour l'approche non-intégrée;

$CI(E_2)$: Coût global généré pour l'approche intégrée.

Les variables de décisions sont:

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

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

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

C. Formulation mathématique

En se basant sur la référence [6], 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 [8]. Ainsi, la formulation mathématique du problème de la première période 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, coûts de livraison, coûts d'approvisionnement, coûts de stockage et de 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 sont servis que par les DCs ouverts. La nature binaire des différentes variables de décision est exprimée par la contrainte (5).

IV. APPROCHES DE RESOLUTION

A. Approche non-intégrée

Dans cette approche, nous divisons notre étude en deux étapes, pour la résolution du problème (MF) durant la première étape E_1 , nous utilisons un algorithme génétique pour déterminer la 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 DCs, la seconde partie l'allocation des détaillants aux DCs et la troisième partie représente l'affectation des DCs 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 correspondant 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 DCs candidats situés dans les mêmes régions que les

détaillants) et 3 fournisseurs potentiels est illustré à travers la figure 2.

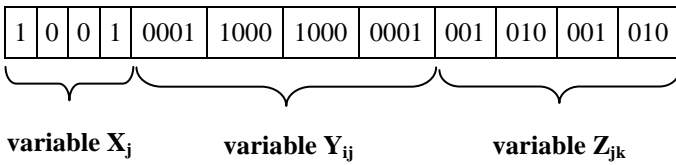


Figure 2.Exemple de chromosome.

Les différentes étapes de l'algorithme génétique utilisé se présentent comme suit :

- **Etape 1.** Générer la population initiale P de taille N aléatoirement.
- **Etape 2.** Evaluer toutes les solutions dans P.
- **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 avec le rang le plus élevé.
- **Etape 4.** Générer deux solutions enfants par le croisement des deux solutions parents avec une probabilité P_c .
- **Etape 5.** Exécuter l'opérateur de mutation avec une probabilité P_m pour chaque solution enfant.
- **Etape 6.** Exécuter une fonction de correction pour les solutions infaisables qui ne respectent pas les contraintes du modèle proposé*.
- **Etape 7.** Ajouter les deux solutions enfants dans la population suivante G.
- **Etape 8.** Répéter les étapes de 3 à 7 pour obtenir N solutions enfants dans G.
- **Etape 9.** Répéter les étapes de 2 à 8 jusqu'à la satisfaction des conditions d'arrêt.

Une solution est dite infaisable si elle ne répond pas aux contraintes du problème. Par conséquent, une procédure de modification du chromosome est exécutée après mutation afin de vérifier les contraintes suivantes :

- Une solution candidate est correcte si au moins un DC est localisé.
- Chaque détaillant est servi pas un et un seul DC.
- Chaque DC ouvert est approvisionné par un seul fournisseur.
- Un DC sert un détaillant que s'il est localisé.

Pour la deuxième étape E_2 , un ou plusieurs DCs peuvent devenir indisponibles. Dans cette étape, une nouvelle allocation (ou réallocation) est effectuée pour les détaillants concernés par l'indisponibilité pour chaque indisponibilité d'un DC, ceci revient à exécuter le même AG de la première période mais en considérant que les DCs opérationnels et les détaillants affectés par l'indisponibilité. Le DC remplaçant satisfait les demandes des détaillants affectés au DC remplacé

pendant son indisponibilité. Durant cette étape, le coût total généré $C(E_2)$ 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 DCs.

Le coût d'indisponibilités pour chaque DC_j et est calculé comme suit :

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

Où,

$C_{Indispo j}$: Coût total des indisponibilités du DC_j ;

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

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

B. Approche intégrée

Dans cette approche, nous utilisons le même algorithme génétique avec la même représentation des chromosomes (voir figure 2) pour la résolution de notre problème excepté qu'un ou plusieurs DCs peuvent devenir indisponible lors de la détermination de la structure de la chaîne logistique. Dans ce cas, une réallocation est effectuée pour les détaillants concernés par l'indisponibilité comme pour l'approche non-intégrée. Ainsi, le cout total généré est calculé en utilisant les équations (1) et (6).

Afin de comparer l'efficacité des deux approches proposées, nous calculons le coût total généré après obtention de la structure de la chaîne en utilisant les mêmes scénarios que dans l'étape E_2 de l'approche non-intégrée. Ce coût $CI(E_2)$ 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.

V. RESULTATS OBTENUS ET ANALYSES

Pour évaluer les performances des approches proposées, 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 DCs candidats. Durant la seconde étape, pour chaque instance nous considérons 5 scénarios différents liés aux indisponibilités des DCs (nombres, instants et durées d'indisponibilités). Les expériences numériques sont effectuées en utilisant un core 2 duo 1.6 GHZ de 2 GB de RAM. Notons que les programmes de simulation des deux approches sont implémentés en langage "VBA". Les paramètres utilisés sont présentés comme suit:

- Nombre de détaillants (**#RL**): Nous avons considéré des problèmes avec 10, 15, 20, 30, 40 et 60 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, 6, 8, 12, 15 et 18 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 tel 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 DCs égale à 25.
- Coût fixe de commande (F_j): Valeur constante pour tous les DCs égale à 50.
- Coût moyen d'une indisponibilité ($M_{Indispoj}$): Ce coût est généré suivant une loi uniforme pour chaque DC, tel que $M_{Indispoj} \sim U[1000, 5000]$.
- 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 les coûts globaux engendrés $C(E_2)$ et $CI(E_2)$ pour les deux approches proposées obtenus après simulation de 5 scénarios différents.

TABLE I. RESULTATS OBTENUS

#RL	#F	Approche non-intégrée			Approche intégrée			Gains
		#DC	#S	$C(E_2)$	#DC	#S	$CI(E_2)$	
10	4	4	3	404.091	4	2	139.706	65.42 %
15	6	8	5	520.072	6	4	199.937	61.55 %
20	8	9	6	599.527	9	5	400.359	33.22 %
30	12	16	8	921.615	12	5	601.733	25.63 %
40	15	18	12	1076.604	15	9	685.363	36.34 %
60	18	22	14	2124.778	21	12	1306.742	38.49 %

- **#DC**: Nombre de DC localisés ;
- **#S**: Nombre de fournisseur sélectionnés ;
- **$C(E_2)$** : Coût global moyen généré dans l'étape E_2 pour l'approche non-intégrée;
- **$CI(E_2)$** : Coût global moyen généré pour l'approche intégrée ;
- **Gains** : Gain en termes de coût global généré entre les deux stratégies ;
- Les coûts sont exprimés en million d'unité d'argent (ua).

A partir du tableau 1, nous constatons que le coût global engendré est en constante augmentation par rapport au nombre de DCs localisés et de fournisseurs sélectionnés. Il est clair aussi que les coûts globaux moyens générés obtenus par l'approche intégrée sont inférieurs à ceux obtenus avec l'approche non-intégrée, avec des pourcentages de gains allant de **25%** à **65%**. Les résultats obtenus montrent clairement que l'optimisation de la gestion des indisponibilités en utilisant une approche intégrée présente de meilleurs résultats.

VI. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons étudié un problème de localisation-allocation et sélection de fournisseurs avec la prise en compte de l'indisponibilité des DCs. Dans un premier temps, nous avons utilisé une approche non-intégrée qui consiste en l'utilisation des 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 DCs. La deuxième approche consiste en l'utilisation d'une approche intégrée dans laquelle nous considérons le même problème de conception d'un réseau stochastique de distribution avec la gestion des

indisponibilités des DCs, c'est-à-dire un ou plusieurs DCs peuvent devenir indisponible lors de la détermination de la structure de la chaîne d'approvisionnement. Nous utilisons le même algorithme génétique pour la résolution de ce problème. Après avoir obtenu la structure de la chaîne logistique pour les deux approches, nous calculons les coûts de gestion des indisponibilités ainsi que les coûts globaux générés pour les mêmes scénarios. La comparaison entre les deux stratégies à travers les gains engendrés a montré que l'approche intégrée est plus performante dans la gestion des indisponibilités DCs.

Ce travail nous a permis de dégager plusieurs directions de recherche futures. La plus immédiate est de considérer d'autres méta-heuristiques pour l'optimisation de la gestion des indisponibilités. Enfin et dans un avenir à moyen terme, il est possible d'étendre la problématique à une approche intégrant la maintenance. Dans ce sens, une politique de maintenance des DCs pourra être envisagée afin de réduire le nombre de défaillances et ainsi améliorer la gestion des indisponibilités des DCs.

References

- [1] H. Ding, L. Benyoucef and X. Xie, "Simulation-based evolutionary multi-objective optimization approach for integrated decision-making in supplier selection," *International Journal of Computer Applications in Technology*, 31(3/4): 144-157, 2008.
- [2] G. A. Tanonkou, "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, 2007.
- [3] M.J. Meixell and V.B. Gargeya, "Global supply chain design: A literature review and critique," *Transportation Research, Part E*, 41: 531-550, 2005.
- [4] M. Bischoff and D. Kerstin, "Allocation search methods for a generalized class of location-allocation problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 192, pp. 793-807, 2009.
- [5] Z. J. M. Shen, C. Coullard and M. S. Daskin, "A Joint Location-Inventory Model," *Transportation Science*, 37(1), pp. 40-55, 2003.
- [6] M. S. Daskin, C. Coullard and Z. J. M. Shen, "An inventory-Location Model: Formulation, Solution Algorithms and Computational results," *Annals of Operations Research*, 110, pp. 83-106, 2002.
- [7] G. A. Tanonkou, L. Benyoucef and X. Xie, "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, 2007.
- [8] F. Maliki and Z. Sari, "Resolution of stochastic supply chain design problem by metaheuristic," *The international conference Control, Decision and Information Technologies*, Hammamet, Tunisie, 06 - 08 Mai, 2013.
- [9] F. Maliki and Z. Sari, "Etude comparative des politiques de gestion de stock lors de la conception des chaînes logistiques," 9^e conférence internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation, Bordeaux, France, 06 - 08 Juin, 2012.
- [10] F. Maliki L. Benyoucef and Z. Sari, "Sensitivity analysis for a stochastic multi modal location-allocation integrated suppliers' selection problem," *The international conference on Industrial Engineering and System Management*, Metz, France, 25 - 27 May, 2011.
- [11] L. De Boer, E. Labro and P. Morlacchi, "A review of methods supporting supplier selection," *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7, pp. 75-89, 2001.
- [12] V. Jain, L. Benyoucef and S.G. Deshmukh, "Strategic supplier selection: some emerging issues and challenges," *Int. J. Logistics Systems and Management*, vol. 5, No. ½, pp. 61-88, 2009.
- [13] D. Simchi-Levi, L.V. Snyder and M. Watson, "Strategies for Uncertainty times. *Supply Chain management Review*," Vol 6 N° 1, pp. 11-12, 2002.
- [14] L.V. Snyder, "Facility location under uncertainty: a review," *IIE Transactions*, 38:7, pp. 547-564, 2006.
- [15] L.V. Snyder and M.S. Daskin, "Reliability Models for Facility Location: the expected failure case, Presented at the INFORMS workshop on "Managing Risk in an Uncertain World"," Northwestern University, Evanston, 2003.
- [16] F. Maliki, M.A. Brahami and M. Dahane, "Optimisation du problème de localisation et sélection des fournisseurs sous contrainte de maintenance," 8^e Conférence internationale de Conception & Production Intégrées, Tlemcen, Algérie, 21 - 23 octobre, 2013.
- [17] G. A. Tanonkou, L. Benyoucef and X. Xie, "A Two-Period Stochastic programming Model for Distribution network Design," *Proceedings of the 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, St Etienne, France, p. 377-382, 17-19 Mai 2006.
- [18] G. A. Tanonkou, L. Benyoucef and X. Xie, "Supply chain network design with unreliable suppliers: a Lagrangian relaxation-based approach," *International Journal of Production Research*, 51:21, 6435-6454, 2013.
- [19] F. Maliki, M. A. Brahami, M. Dahane and Z. Sari, "A location-allocation problem design with unavailabilities management," 44th international conference on computers & industrial engineering (CIE44&IMSS'14 proceedings), Istanbul, Turkey, 14-16 October, 2014.
- [20] F. Maliki, M. A. Brahami, M. Dahane and Z. Sari, "Supply chain design problem with unavailabilities management," the 1st International Conference on Applied Automation and Industrial Diagnostics (ICAAD' 2015), Djelfa, Algeria, 29-30 March, 2015.