



**HAL**  
open science

# ETUDES COMPARATIVES DES POLITIQUES DE GESTION DE STOCK LORS DE LA CONCEPTION DES CHAINES LOGISTIQUES

Fouad Maliki, Zaki Sari

► **To cite this version:**

Fouad Maliki, Zaki Sari. ETUDES COMPARATIVES DES POLITIQUES DE GESTION DE STOCK LORS DE LA CONCEPTION DES CHAINES LOGISTIQUES. 9th International Conference on Modeling, Optimization & SIMulation, Jun 2012, Bordeaux, France. hal-00728597

**HAL Id: hal-00728597**

**<https://hal.science/hal-00728597>**

Submitted on 30 Aug 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## ETUDES COMPARATIVES DES POLITIQUES DE GESTION DE STOCK LORS DE LA CONCEPTION DES CHAINES LOGISTIQUES

F. MALIKI

Manufacturing Engineering Laboratory of  
Tlemcen(MELT), B.P N° 119 Tlemcen, Algérie.  
f\_maliki@mail.univ-tlemcen.dz

Z. SARI

Manufacturing Engineering Laboratory of  
Tlemcen(MELT), B.P N° 119 Tlemcen, Algérie.  
z\_sari@mail.univ-tlemcen.dz

**RESUME :** *Une chaîne logistique inclut la transformation et le transport des matières premières en passant par les différentes étapes de production, d'assemblage, de stockage et de distribution jusqu'à l'obtention des produits finis par les clients; nous considérons dans ce travail un réseau de distribution stochastique où les décisions de sélection des fournisseurs, de localisation des centres de distribution (DCs) et d'affectation des détaillants sont intégrées dans un même modèle d'optimisation non-linéaire. Notre problème consiste à trouver les meilleures localisations des DCs où chaque DC est identifié par sa zone de localisation, utilise une politique de gestion de son stock et garde un certain stock de sécurité, la meilleure affectation des détaillants aux DCs et des DCs aux fournisseurs sélectionnés ainsi que la répartition des ordres d'approvisionnement sur les différents chemins reliant les fournisseurs aux DCs. Pour ce faire une approche d'optimisation basée sur la simulation utilisant la relaxation lagrangienne et les algorithmes génétiques multicritères (MOGAs) est proposée. L'objectif principale de ce travail est de comparer les résultats obtenus en utilisant différentes politiques de gestion des stocks au niveau des DCs afin de voir la politique la plus appropriée. Pour ce faire, nous étudions des réseaux de distribution de différentes tailles arrivons jusqu'à 30 DCs candidats et 8 fournisseurs potentiels. Ainsi, des résultats numériques sont présentés et analysés.*

**MOTS-CLES :** *réseau de distribution, gestion des stocks, relaxation lagrangienne, MOGA, optimisation, simulation.*

### 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. Du point de vue des entreprises, les clients se révèlent être de plus en plus influents en matière d'achat et pouvoir de négociation. Ainsi, les entreprises doivent coopérer avec les fournisseurs afin de maximiser la productivité à moindre coût tout en satisfaisant les exigences des clients.

Plusieurs travaux de recherche intéressés aux problèmes de conception de chaînes logistiques globales ont été présentés dans (Meixell et Gargeya, 2005), les auteurs ont déduit que bien que la communauté de recherche a abordé des problèmes difficiles de conception de chaînes logistiques, 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», «les modèles globaux de chaînes d'approvisionnement doivent s'intéresser aux niveaux multiples de production et de distribution dans la chaîne logistique», «les mesures de performance utilisées dans des modèles globaux de chaînes d'approvisionnement doivent être élargis dans le

but d'aborder les objectifs alternatifs», «d'autres paramètres de l'industrie doivent être étudiés dans le contexte de la conception de chaînes logistiques globales».

Dans un contexte de conception de leurs réseaux de distribution, nombreuses sont les entreprises qui font face aux décisions stratégiques liées aux nombre de centres de distribution (DCs) à localiser et aux fournisseurs à sélectionner, malgré les variations des demandes et des délais qui rendent ces décisions complexes, coûteuses et difficiles à prendre. Notant que ces variations peuvent dégrader les performances globales du système.

Dans la littérature, plusieurs auteurs se sont intéressés aux problèmes de conception de chaînes logistiques, (Klose et Drexel, 2005) ont présenté un état de l'art détaillé portant sur les problèmes de localisation allocation, les auteurs ont réparti ces problèmes en trois grandes familles : les problèmes continus, les problèmes discrets et les problèmes représentés par des modèles de programmation en nombre entiers. Ils ont déduit que les modèles formulés et les approches de résolutions proposées varient considérablement en termes d'hypothèses fondamentales, complexité mathématique et performances de calcul.

Dans (ReVelle et Eiselt, 2005), les auteurs ont cité un nombre importants de problèmes de localisation de sites. Ils ont divisé ces problèmes en deux secteurs : privé et public, ils annoncent que «ce domaine est très actif avec beaucoup de problèmes à étudier et à résoudre. Bien que le domaine est actif dans une perspective de recherche

quand il s'agit d'applications, il semble y avoir un déficit important, au moins par rapport à d'autres domaines similaires».

Les décisions de sélection des fournisseurs et de localisation allocation sont le plus souvent considérées séparément. En fait, la sélection des fournisseurs et les problèmes de localisation allocation sont considérés comme deux domaines de recherche différents. L'objectif de ce travail est d'intégrer dans un même modèle des décisions considérées d'habitude en trois niveaux : la localisation des DCs, l'allocation des fournisseurs aux DCs localisés et des DCs localisés aux détaillants. De plus, nous intégrons dans notre modèle les décisions liées à la gestion des stocks au niveau des DCs. Plus précisément, nous étudions les performances d'un réseau de distribution en utilisant différentes politiques de gestion de stock au niveau des DCs afin de voir la politique la plus appropriée, c'est-à-dire celle qui nous offre les meilleurs indicateurs de performances de notre réseau de distribution. Ce travail est une extension des travaux présentés dans (Maliki et al., 2010) et (Maliki et al., 2011). Dans le premier travail, les auteurs ont étudié un problème de localisation allocation à trois niveaux avec un ensemble de fournisseurs, un ensemble de DCs à localiser et un ensemble de détaillants (problème traité par (Tanonkou et al., 2011)). En outre, ils ont utilisé une approche hybride d'optimisation basée sur la simulation pour la résolution de ce problème stochastique intégrant des décisions de localisation des DCs et de sélection des fournisseurs avec la considération des coûts industriels et logistiques et le niveau de service clients.

Le second travail est 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 ouvert 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.

Le reste de l'article est organisé comme suit, la section 2 présente quelques travaux intéressés aux problèmes de localisation allocation intégrant l'aspect stockage et de sélection des fournisseurs, la section 3 décrit le réseau de distribution considéré dans ce travail, la section 4 illustre l'approche d'optimisation basée sur la simulation proposée, la section 5 présente l'étude comparative effectuée, la section 6 montre quelques résultats numériques obtenus et leurs analyses et la section 7 conclut l'article et présente quelques directions de recherches futures.

## 2 ETAT DE L'ART

Le problème abordé dans ce travail de recherche provient principalement de deux axes de recherche à savoir

la sélection des fournisseurs et les problèmes de localisation allocation qui ont été largement abordés dans la littérature. Et malgré, très peu de travaux existants considèrent ces deux décisions simultanément. Cette section résume brièvement les approches proposées et les résultats obtenus dans la littérature pour le problème de sélection des fournisseurs et les problèmes de localisation allocation.

### 2.1 Problème de sélection des fournisseurs

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. Les études menées par (Moinzadeh et Nahmias 1988), (Sculli et Shum, 1990) et (Lau et Zha, 1994) démontrent l'intérêt des entreprises à adopter des stratégies d'approvisionnement multiples dans la gestion de leurs stocks. Les avantages de l'utilisation de plusieurs fournisseurs résident dans la considération de l'efficacité de stockage, la fiabilité des fournisseurs et l'amélioration des prix et de la qualité, etc. pour reconstruire un élément du stock. Toutefois, la plupart des études supposent que les produits des différents fournisseurs sont identiques, vu que les produits sont fournis au même prix et avec la même qualité (Sculli et Shum, 1990). Par conséquent, le problème obtenu se transforme en un problème de gestion de stock. Dans (Lau et Zha, 1994) les auteurs ont développé des méthodes de calcul pour l'obtention des taux de répartition des ordres d'approvisionnement, le niveau de réapprovisionnement et la quantité commandée optimaux avec seulement deux fournisseurs.

Dans (Sedarage et al, 1999), les auteurs ont développé un modèle d'optimisation afin de déterminer à la fois le niveau de réapprovisionnement et les quantités obtenues après réparation des ordres d'approvisionnement pour des systèmes de n fournisseurs dans lesquels les demandes clients et les délais d'approvisionnement sont aléatoires. Le modèle minimise un coût global intégrant le coût de commande, le coût d'achat et le coût de gestion de stocks. Plusieurs expériences numériques ont été effectuées afin de montrer les avantages offerts par l'utilisation de plusieurs fournisseurs au lieu de deux ou un seul fournisseur.

(Qi, 2007) a étudié un modèle intégré de prise de décision pour un réseau d'approvisionnement où une usine fait face aux prix, à la production et aux contraintes d'approvisionnement. La demande du marché est supposée sensible aux prix, et la capacité d'approvisionnement de l'usine considérée doit être acquise à partir d'un ensemble de fournisseurs à capacité finie. Le problème consiste à déterminer simultanément le prix de vente, la quantité de production, ainsi que la capacité approvisionnée de chaque fournisseur afin de maximiser le bénéfice total. Les auteurs ont démontré que le problème étudié est NP-complet, ainsi une heuristique et un algorithme optimal de programmation dynamique ont été

développés. Des résultats numériques sont présentés et analysés afin de montrer l'efficacité des algorithmes proposés.

La décision de sélection des fournisseurs est compliquée du fait que plusieurs critères de natures qualitatives et quantitatives doivent être considérés. (Jain et al., 2009) présentent un état de l'art détaillé 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.

Dans (Weber et al., 1991), les auteurs proposent une classification de 74 articles apparus depuis 1966 en se basant sur les 23 critères de sélection proposés par (Dickson, 1966). Les résultats de cette analyse montrent que 22 critères sont utilisés au moins dans un article et que 47 articles discutent au moins deux critères. En plus, les résultats montrent que le prix net, le délai de livraison, la qualité, la capacité de production et le lieu de production sont les critères les plus utilisés dans ces 74 articles.

(Verma et Pullman, 1998) définissent une méthode qui permet de déterminer l'importance des critères de sélection des fournisseurs, les auteurs se limitent à l'utilisation des critères suivants: coût, qualité, délai de livraison, livraison à temps et flexibilité ainsi qu'une méthode probabiliste pour le choix des fournisseurs. Les auteurs effectuent une étude sur 58 entreprises, examinent les résultats obtenus et annotent que la qualité est le critère le plus important dans la sélection des fournisseurs et que cette sélection se base fortement sur le coût et le délai de livraison.

La méthode "Analytical Hierarchy Process (AHP)" se présente comme l'une des méthodes les plus utilisées pour la sélection des fournisseurs (Ghodsypour et O'Brien, 1998), cette méthode consiste à définir les critères sur lesquels se base le choix des fournisseurs, ces derniers sont structurés de façon hiérarchique, la méthode AHP procède par comparaison par paire de chaque niveau hiérarchique pour déterminer les poids des critères. L'étape suivante consiste à déterminer le taux de sélection de chaque fournisseur en prenant en considération la nature de chaque critère (quantitative ou qualitative). Les mêmes auteurs ont présenté un modèle non-linéaire en nombres entiers représentant un problème de sélection des fournisseurs (Ghodsypour et O'Brien, 2001). Ce modèle permet de minimiser le prix net, les coûts de stockage, de transport et les coûts de commande.

Dans (Liao et Rittscher, 2007), les auteurs présentent un modèle multi objectifs dont la résolution permet de sélectionner des fournisseurs, de déterminer la quantité approvisionnée de chaque fournisseur et d'affecter un

chemin pour chaque fournisseur afin de minimiser le coût logistique total, la quantité de produits rejetés à cause du non respect de la qualité produit et le nombre total de produits non livrés dans les délais. Pour la résolution de ce problème, un algorithme génétique est développé. Les résultats numériques obtenus sont présentés et analysés.

Ding et al. (2003) considèrent un problème de conception d'une chaîne logistique où les décisions de localisation des DCs et de sélection des fournisseurs doivent être prises simultanément. Les auteurs utilisent une approche d'optimisation basée sur la simulation permettant d'optimiser la structure du réseau de distribution, les règles de pilotage utilisées ainsi que les paramètres associés. Plus précisément, ils considèrent un réseau de distribution contenant K fournisseurs candidats approvisionnant un ensemble de DCs potentiels en différents types de produits. Par hypothèse, plusieurs chemins relient deux sites différents en utilisant différents modes de transports. Un cas d'étude issue de l'industrie textile est présenté et les résultats numériques obtenus analysés.

## 2.2 Problèmes de localisation allocation intégrant l'aspect stockage

Dans un environnement de plus en plus compétitif, la gestion de stock est devenu un défi important pour les entreprises quand elles cherchent simultanément à réduire les différents coûts et à améliorer la qualité du service clients lors de la conception des chaînes logistiques. Plusieurs chercheurs considèrent des problèmes de localisation intégrant les coûts de stockage. (Barahona et Jensen, 1998) intègrent les coûts de stockage dans un modèle de localisation basé sur le problème (FCFL) dont l'objectif est de minimiser les coûts de localisation, les coûts de transport et les coûts de stockage. (Nozick et Turnquist, 1998) expriment le coût de stockage comme une fonction linéaire du nombre de DCs à ouvrir. Par conséquent, ils proposent une méthode permettant d'intégrer le coût de stockage dans le coût fixe de localisation des DCs et présentent un modèle mathématique du problème. Les mêmes auteurs proposent une extension du modèle précédent dans (Nozick et Turnquist, 2001) où l'objectif est de maximiser les zones de demandes couvertes.

(Erlebacher et Meller, 2000) présentent un modèle de localisation intégrant les coûts de stockage. Par hypothèses, les demandes clients sont aléatoires et les distances entre les centres de production, les DCs et les zones de demandes sont rectilinéaires. Un modèle de programmation non linéaire est proposé dont l'objectif est de trouver le nombre et les localisations optimales des DCs ainsi que la meilleure affectation des clients aux DCs tout en minimisant les coûts fixe de localisation, les coûts de transport et les coûts de stockages. Les auteurs proposent une méthode heuristique pour approcher la solution optimale du problème connu comme NP-difficile.

Concernant l'intégration des coûts de stockage dans les problèmes de localisation stochastique, (Shen et al., 2003) et (Daskin et al., 2002) ont été les premiers à introduire de façon plus implicite les coûts de stockage dans un problème de localisation (FCFL). Les auteurs modélisent un réseau de distribution constitué d'un fournisseur unique de capacité infinie approvisionnant un ensemble de détaillants par un seul type de produit, chaque détaillant effectue une demande aléatoire, le problème consiste à déterminer le nombre de DCs à localiser dans les mêmes régions que les détaillants, leur localisation ainsi que les détaillants qui lui sont affectés afin de minimiser une fonction coût intégrant le coût de localisation des DCs, le coût de transport (fournisseur, DC, clients), le coût de stockage et le coût de maintien des stocks de sécurité au niveau des DCs.

(Daskin et al., 2003) présentent un modèle d'optimisation non linéaire représentant le problème, la non linéarité est due à l'introduction de la politique de la quantité économique (EOQ) pour gérer les stocks et du maintien des stocks de sécurité au niveau des DCs. Pour réduire la complexité du problème, les auteurs considèrent que le délai d'approvisionnement entre l'unique fournisseur et les DCs est constant et que le rapport entre la demande moyenne et sa variance est constant pour tous les clients. Les auteurs présentent un algorithme basé sur une approche de relaxation lagrangienne pour résoudre le problème.

Dans (Shen et al., 2003), les auteurs présentent un modèle non linéaire du problème basé sur le (FCFL). Ce modèle est transformé en un modèle linéaire en utilisant une transformation en un problème de recouvrement pour deux cas particuliers du problème original dont ils proposent une méthode de génération de colonnes pour le résoudre. Le premier cas particulier assume que le rapport entre la variance et la demande moyenne est constant pour tous les clients. Tandis que pour le deuxième, les auteurs supposent que les variances de toutes les demandes clients sont nulles. D'autre part, (Shu et al., 2005) considèrent le même problème que celui proposé dans (Shen et al., 2003) et proposent une méthode basée sur la génération de colonnes pour résoudre le problème de façon générale avec une hypothèse restrictive qui impose à ce que tout DC ouvert dans la même région du détaillant sert la demande de ce détaillant ce qui n'est pas toujours vrai dans la solution optimale.

(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 centres de distribution à localiser qui ont pour rôles de satisfaire les demandes (en un seul type de produit) provenant des différentes zones de demande/clients. Par hypothèse, chaque fournisseur est

connecté à chaque DC potentiel par une et une seule connexion de transport. L'objectif est de choisir les meilleurs fournisseurs, les meilleures localisations des centres de distribution, 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, ils proposent une méthode basée sur la relaxation lagrangienne. Les résultats numériques obtenus attestent de la validité de la méthode proposée.

(Tanonkou et al., 2008) présentent une relaxation lagrangienne pour la résolution d'un problème de localisation stochastique avec demandes clients et délai d'approvisionnement (fournisseur-DC) aléatoires. Les auteurs traitent le même problème que celui présenté dans (Daskin et al., 2002) tout en considérant que le délai de livraison est aléatoire et que le rapport entre la demande moyenne et sa variance n'est pas constant pour tous les clients ce qui complique plus le problème. Ils montrent l'efficacité de leur méthode en l'appliquant sur un exemple de réseau de distribution contenant un fournisseur et 10 localisations clients parmi lesquels les DCs sont choisis.

A l'exception des travaux de (Tanonkou et al., 2007 et 2008), dans la majorité des travaux recensés seul le cas mono-fournisseur est abordé. Evitant par conséquent l'intégration des décisions de sélection des fournisseurs dans des problèmes de localisation utilisant des modèles analytiques.

### 3 PROBLEMATIQUE CONSIDEREE

#### 3.1 Réseau de distribution étudié

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, ce problème est étudié par (Tanonkou et al., 2008). Comme extension possible de ce travail nous considérons le cas où chaque détaillant est relié à chaque fournisseur par plusieurs connexions de transport où chaque liaison utilise un ou plusieurs modes de transport (Trois moyens de transports sont considérés : Train, Bateau et Avion, dont les coûts et les délais de transport sont initialisés aléatoirement). Par ailleurs, 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.

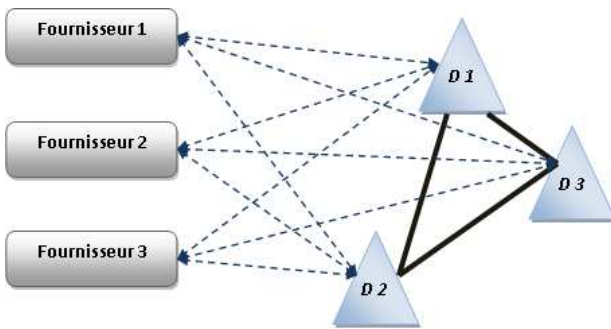


Figure 1 : Structure de la chaîne logistique étudiée.

Un exemple de connexion fournisseur détaillant avec trois connexions de transport est illustré par la figure 2.



Figure 2 : Exemple d'une connexion fournisseur, détaillant.

Notre problème consiste à trouver les meilleures localisations des DCs (chaque DC est identifié par la zone de sa localisation) ainsi que la meilleure affectation des détaillants aux DCs et des DCs aux fournisseurs et à répartir les ordres d'approvisionnement sur les différentes connexions de transport reliant les fournisseurs aux DCs.

Pour la résolution de ce problème stochastique une approche d'optimisation basée sur la simulation est utilisée. Dans un premier temps, la résolution du problème consiste en la prise de trois types de décisions qui sont : localisation des DCs, affectation des détaillants aux DCs 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 basé sur une relaxation Lagrangienne proposé par (Tanonkou et al., 2008) dont la solution obtenue définit la structure globale de notre réseau de distribution.

A partir de la solution obtenue un algorithme génétique multicritères (MOGA) NSGA-II hybridé avec la simulation est utilisé afin de déterminer la meilleure répartition des ordres d'approvisionnement sur les différents chemins reliant les fournisseurs aux DCs. Dans notre cas, une solution candidate est constituée de poids (valeur comprise entre 0 et 1) où les poids représentent le pourcentage des produits transportés du fournisseur au DC par chaque chemin et la somme des poids pour chaque solution est égale à 1. Ainsi, nous simulons le comportement de la chaîne considéré pour chaque solution candidate pour obtenir les indicateurs de performances nécessaires (coût et délai de transport du fournisseur au DC). Une évaluation globale en termes de fitness est

associée à cette solution. Ainsi, toutes les solutions proposées par le MOGA sont évaluées de la même façon et le processus est répété pour toutes les chaînes obtenues. Il est important de signaler que dans notre cas, la solution Lagrangienne qui présente la structure globale de la chaîne n'est rien d'autre qu'un ensemble de sous-chaînes composées d'un seul DC vue que chaque détaillant est affecté à un et un seul DC, et chaque DC est affecté à un et un seul fournisseur sans contrainte de capacité pour ce dernier.

Le MOGA utilisé a pour objectif de guider la solution dans un espace de solutions possibles vers une solution proche de l'optimum. Le cycle optimisation-simulation est répété pour un certain nombre d'itérations fixé d'avance. La figure 3 donne une vue globale de la structure de l'approche hybride proposée.

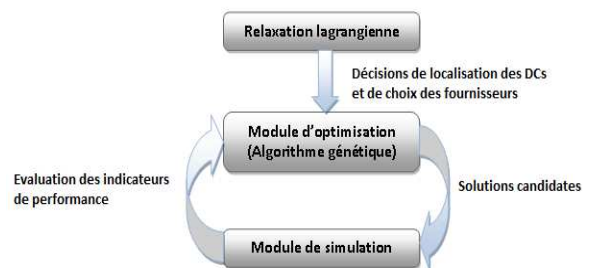


Figure 3 : L'approche hybride proposée.

### 3.2 Notations et variables utilisées

Pour la formulation mathématique du problème étudié, nous nous sommes basés sur le travail de (Tanonkou et al., 2008). Ainsi, 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  $j$ ;

$\mu_i$ : Demande moyenne journalière générée par le détaillant  $i$ ;

$\sigma_i^2$ : 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  $k$ ;

$a_{jkl}$ : Coût unitaire d'approvisionnement (prix d'achat et de transport) du  $DC_j$  auprès du fournisseur  $k$  à travers le chemin  $l$ ;

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

$L_{jkl}$ : Délai moyen d'approvisionnement en jours du  $DC_j$  auprès du fournisseur  $k$  à travers le chemin  $l$ ;

$\lambda_{jk}^2$ : Variance du délai d'approvisionnement du  $DC_j$  auprès du fournisseur  $k$ ;

$\lambda_{jkl}^2$ : Variance du délai d'approvisionnement du  $DC_j$  auprès du fournisseur  $k$  à travers le chemin  $l$ ;

$\theta$ : Nombre de jours travaillés par an;

$\alpha$ : Niveau de service dans les centres de distribution;

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

**Les variables de décisions sont:**

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

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

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

### 3.3 Formulation mathématique

Dans cette section, nous présentons la formulation mathématique de notre problème dont la résolution nous permet de déterminer les variables de décisions  $X_j$ ,  $Y_{ij}$  et  $Z_{jk}$  et par conséquent la structure de notre chaîne logistique. Comme nous l'avons signalé précédemment, nous considérons dans un premier temps l'existence d'un seul chemin de transport entre les fournisseurs potentiels et les détaillants, pour le choix du chemin trois scénarios sont considérés (voir section V). Ainsi, la formulation mathématique du premier problème se présente comme suit :

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

Où  $J(X,Y,Z)$  est défini par

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

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

Sous les contraintes :

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

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

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

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

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).

Le modèle présenté ci-dessous et un modèle d'optimisation combinatoire non linéaire dont la résolution est très complexe. Pour simplifier ce modèle, nous utilisons les notations suivantes :

$$\widetilde{D}_{ij} = \theta \mu_i d_{ij}, A_{ijk} = \theta \mu_i a_{jk}, c_{ijk} = 2\theta \mu_i h_j F_{jk},$$

$$\alpha_{ijk} = L_{jk} \sigma_i^2 (Z_\alpha h_j)^2, e_{jk} = (\lambda_{jk} Z_\alpha h_j)^2$$

Avant de résoudre le problème (MF), nous introduisons une nouvelle variable de décision  $D_j$  qui indique la demande moyenne de chaque  $DC_j$ . Compte tenu des notations précédentes et de la nouvelle variable de décision  $D_j$ , le problème (MF) peut être réécrit de la façon suivante :

$$\begin{aligned} \min_{X,Y,Z,D} J(X,Y,Z,D) = & \sum_{j \in I} f_j X_j + \sum_{j \in I} \sum_{i \in I} \widetilde{D}_{ij} Y_{ij} \\ & + \sum_{j \in I} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} A_{ijk} Y_{ij} Z_{jk} + \sum_{j \in I} \sum_{k \in K} \sqrt{\sum_{i \in I} c_{ijk} Y_{ij} Z_{jk}} \\ & + \sum_{j \in I} \sum_{k \in K} \sqrt{\sum_{i \in I} \alpha_{ijk} Y_{ij} + e_{jk} D_j^2} Z_{jk} \quad (6) \end{aligned}$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{j \in I} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} Z_{jk} = 1 \quad \forall j \in I \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} \mu_i Y_{ij} \leq D_j \quad \forall j \in I \quad (9)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j \in I \quad (10)$$

$$X_j, Y_{ij}, Z_{jk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in I \forall k \in K \quad (11)$$

#### 4 APPROCHE DE RESOLUTION

Le problème non linéaire représenté par le modèle de programmation en nombre entiers ci-dessus est NP-difficile (Daskin, 1995). Par conséquent, nous utilisons un algorithme basé sur une relaxation Lagrangienne pour sa résolution proposé par (Tanonkou et al., 2008). L'obtention de variables de décision  $X_j$ ,  $Y_{ij}$  et  $Z_{jk}$  nous permet de déterminer la structure globale de la chaîne logistique. Par la suite, nous utilisons un algorithme génétique multi critères afin répartir les ordres sur les différents chemins reliant les fournisseurs sélectionnés aux DCs localisés. Plus précisément, notre algorithme d'optimisation est une adaptation de l'algorithme NSGA-II proposé initialement par (Deb et al., 2002). Cet algorithme est considéré par les praticiens comme étant le MOGA le plus efficace vue qu'il utilise :

- une méthode de classement des solutions d'une population selon les fronts Pareto ;
- une méthode élitiste pour préserver les meilleures solutions dans la population future ;
- une méthode "crowd-comparison" pour la sélection élitiste ;
- une procédure de réparation des solutions infaisables.

Notre algorithme est utilisé par le module d'optimisation pour guider la recherche dans un espace de solutions vers la frontière des solutions optimales au sens de pareto. Notons que chaque solution candidate est évalué en terme de fitness par un module de simulation. Les étapes du MOGA sont détaillée dans (Maliki et al., 2010).

#### 5 ETUDE COMPRATIVE

La gestion des stocks dans un centre de distribution ou une zone de stockage dans une usine consiste en la recherche de réponses aux deux questions suivantes : quand commander et combien commander. Pour répondre à ces deux questions, il est indispensable que le décideur précise, pour chaque type de produit stocké, la nature de la politique de gestion de stock utilisée, ainsi que les paramètres associés. Dans notre modèle de simulation, des ordres d'approvisionnement sont créés selon la politique associée. Pour ce faire trois politiques de gestion de stock ont été implémentées, respectivement :

- Base stock : Si la position du stock  $It$ , à un instant donné  $t$ , est inférieure au niveau  $B$ , un ordre d'approvisionnement de taille  $(B - It)$  est lancé.
- $(R, Q)$  : Si la position du stock  $It$  est inférieure au niveau  $R$ , un ordre d'approvisionnement de taille  $Q$  est lancé.
- $(s, S)$  : Si la position du stock  $It$  est inférieure au niveau  $s$ , un ordre d'approvisionnement de taille  $(S - It)$  est lancé.

L'objectif principal de ce travail est de voir l'impact de chaque politique de gestion de stock sur les indicateurs de performances du réseau de distribution étudié (nous avons choisis le coût et le délai de transport des fournisseurs aux DCs comme indicateurs de performance) afin de choisir la politique la plus appropriée. Pour ce faire, lors de la simulation du comportement du réseau de distribution, chaque DC reçoit une demande d'une quantité de produits générée par le détaillant qui lui est rattaché. A partir de ces demandes le DC effectue une commande de produits auprès du fournisseur affecté à ce DC dont la quantité et le point d'approvisionnement dépendront de la politique de gestion de stock utilisée, notons que les ordres d'approvisionnement sont répartis sur les chemins reliant le fournisseur au DC suivant la solution générée par le MOGA. Ainsi, un coût et un délai de transport sont associés à cette solution. Ce processus est répété pour tous les DCs localisés. Notons que dans (Tanonkou et al., 2008), les auteurs considèrent la politique  $(R, Q)$  pour la gestion de stocks au niveau des DCs.

A la fin des simulations, un coût et un délai de transport des produits nécessaire pour la satisfaction des demandes clients est associé pour chaque DC. Ainsi, le coût de transport global du réseau de distribution considéré est représenté par la somme de tous les coûts obtenus, tandis que le délai global est représenté par le maximum des délais obtenu vue que nous avons supposé que les transports des produits des fournisseurs aux DCs se font en parallèle.

#### 6 RESULTATS OBTENUS ET ANALYSE

Pour comparer les performances de notre réseau de distribution pour les différentes politiques de gestion de stock nous avons étudié des instances de différentes tailles. Ces instances sont obtenues en variant le nombre de détaillants qui représente en même temps le nombre de DCs candidats et le nombre de fournisseurs potentiels. Les expériences numériques sont effectuées en utilisant un core 2 duo 1.6 GHZ de 1 GB de RAM. Notons que la relaxation lagrangienne et le MOGA sont implémentés en langage "VBA" tandis que le module de simulation est réalisé avec le logiciel de simulation "ARENA" de Rockwell Software. Les paramètres utilisés sont présentés comme suit :

- **Nombre de détaillants (#RL):** Nous avons considéré des problèmes avec 10, 15, 20 et 30 détaillants.



- **Nombre de fournisseurs (#F):** Nous avons considéré des problèmes constitués de 3, 4, 5, et 8 fournisseurs potentiels.
- **Demandes des détaillants:** Pour chaque détaillant, la moyenne de la demande  $\mu_i$  est générée uniformément tel que  $\mu_i \sim U [100, 1600]$ .
- **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.
- **Coûts de transport et délai de livraison par un chemin l :** Ces valeurs sont générées aléatoirement suivant des lois uniformes, notons que ces lois sont modifiées suivants les différents moyens de transport utilisés (train, bateau, avion).
- **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.
- **Nombre de jours travaillés par an( $\theta$ ), période de simulation:** nous avons considéré 250 jours.

Trois scénarios sont considérés lorsqu'on passe de plusieurs chemins à un seul chemin. Le scénario 1 est tel que  $L_{jk} = \min_l L_{jkl}$ , le scénario 2 tel que  $L_{jk} = \frac{\sum_l L_{jkl}}{3}$  et le scénario 3 tel que  $L_{jk} = \max_l L_{jkl}$ . Pour chaque instance considérée de notre problème original, nous générons les paramètres cités ci-dessus. Les résultats obtenus par la relaxation lagrangienne pour le scénario 2, ainsi que les coûts et délais de transport obtenus pour chaque politique de gestion de stock sont mentionnés dans le tableau 1.

Relaxation lagrangienne							Politique (R, Q)	
#RL	#F	#DC	#S	LB	UB	GAP	Coût	Délai
10	3	4	3	11.23	11.34	0.987	200566.467	252.47
15	5	6	3	15.33	15.34	0.013	219172.474	255.51
20	6	7	5	19.28	12.29	0.024	255323,141	253,81
30	8	12	5	41.01	41.41	0.963	340809.650	266.07

Politique (s, S)		Politique base stock	
Coût	Délai	Coût	Délai
147732,503	251,72	320023,783	498,63
264388,621	260,63	402552,828	506,87
245752,519	255,52	560537,147	503,43
391475,730	265,81	779799,001	503,59

Tableau 1 : Résultats obtenus

- #DC: Nombre de DC localisés.
- #S: Nombre de fournisseur sélectionnés.
- LB: Borne inférieure obtenue de la relaxation lagrangienne en million d'unité d'argent (ua).
- UB: Borne supérieure obtenue de la relaxation lagrangienne en million d'unité d'argent (ua).
- GAP (%): Définie par la formule  $(UB - LB)/UB$ .
- Coût et délai : Coût et délai de transport des fournisseurs aux DCs pour chaque instance de problème correspondant à l'utilisation d'une politique de gestion de stock.

Notons que les paramètres des différentes politiques de gestion de stocks Q, S et B sont obtenu après résolution du modèle mathématique, tandis que les paramètres R, s et It sont initialisés aléatoirement, nous envisageons à définir les valeurs les plus appropriées au problème étudié.

A partir du tableau 1, nous constatons que la valeur du GAP est inférieure à 1% pour toutes les instances générées. Les figures 4 et 5 montrent l'évolution du coût et du délai de transport pour chaque problème étudié pour toutes les politiques de gestion de stock considérées.

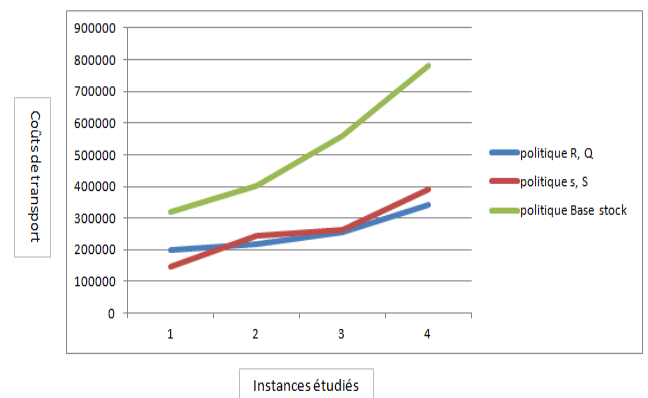


Figure 4 : Coût de transport obtenu pour chaque problème étudié.

A partir de la figure 4, nous remarquons que le coût de transport des fournisseurs aux DCs augmente largement pour la politique base stock, contrairement aux politiques (R, Q) et (s, S) où les valeurs obtenus sont très proches pour les problèmes 2 et 3.

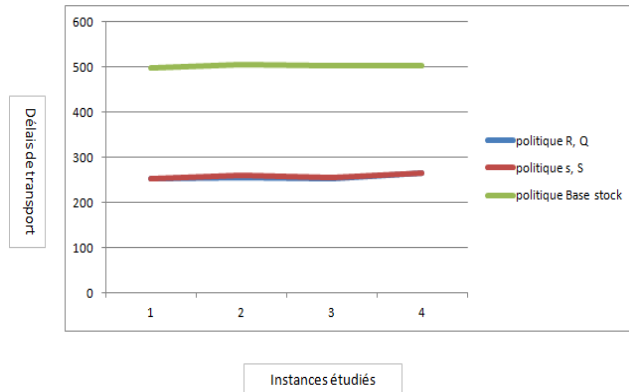


Figure 5 : Délai de transport obtenu pour chaque problème étudié.

A partir de la figure 5, nous remarquons que le délai de transport des fournisseurs aux DCs augmente largement pour la politique base stock, contrairement aux politiques (R, Q) et (s, S) où les valeurs obtenus sont très proches pour tout les problèmes étudiés. D'où, nous constatons que les performances du réseau de distribution étudié dégradent énormément pour la politique base stock contrairement aux autres politiques où les performances sont similaires.

## 7 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons utilisé une approche d'optimisation basée sur la simulation utilisant la relaxation lagrangienne et les algorithmes génétiques multi critères (MOGA) 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'affectation des détaillants sont intégrées dans un même modèle d'optimisation non-linéaire avec comme objectif de minimiser les coûts de localisation, de transport, de stockage et de maintien des stocks de sécurité à travers le réseau. Nous nous sommes principalement intéressés à l'analyse du comportement du réseau de distribution pour les politiques de gestion de stock (R, Q), (s, S) et base stock. Ainsi, les résultats obtenus sont présentés et analysés.

Ce travail nous a permis de dégager plusieurs directions de recherche futures. La plus immédiate est d'étendre la problématique étudiée au cas multi-produits avec différentes politiques de gestion de stock (c'est-à-dire chaque type de produit avec sa propre politique de stockage). De plus, la prise en compte des capacités des fournisseurs et des DCs sont indispensables, car elles reflètent le plus possible la réalité.

## REFERENCES

- Barahona F. et D. Jensen, 1998. Plant location with minimum inventory. *Mathematical Programming*, 83, p. 101-111.
- Daskin M.S., (1995). Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications. *John Wiley and Sons, Inc.* New York,.
- Daskin M.S., C. Couillard et Z.J.M. Shen, 2002. An Inventory-Location Model: Formulation, Solution Algorithms and Computational results. *Annals of Operations Research*, 110, p. 83-106.
- Deb K., A. Pratap, S. Agarwal and T.A. Meyarivan, 2002. Fast and elitist multiobjective genetic algorithm : NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, p. 182-197.
- Dickson G.W., 1966. An analysis of vendor selection: systems and decisions. *Journal of Purchasing*, vol. 1, No. 2, p. 5-17.
- Ding H., L. Benyoucef et X. Xie, 2003. A simulation-optimization approach using genetic search for supplier selection. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, p. 1260-1267.
- Erlebacher S.J. et R.D. Meller, 2000. The interaction of location and inventory in designing distribution systems. *IIE Transactions*, 32, p. 155-166.
- Ghodyspour S.H. et C. O'Brien, 2001. The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International Journal of Production Economics*, 73: 15-27.
- Jain V., L. Benyoucef et S.G. Deshmukh, 2009. Strategic supplier selection: some emerging issues and challenges. *Int. J. Logistics Systems and Management*, vol. 5, No. 1/2, p. 61-88.
- Klose A. et A. Drexl, 2005. Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*, 162: 4-29.
- Lau H.S. et L.G. Zhao, 1994. Dual sourcing cost-optimization with unrestricted lead-time distributions and order-split proportions. *IIE Transactions*, 26: 66-75.
- Liao Z. et J. Rittscher, 2007. Integration of supplier selection, procurement lot sizing and carrier selection under dynamic demand conditions. *Int. J. Production Economics*, 107, p. 502-510.

- Maliki F., L. Benyoucef et Z. Sari, 2010. Une approche d'optimisation basée sur la simulation pour la conception d'un réseau de distribution stochastique multi fournisseurs. *Proceedings of the 8e conférence internationale de modélisation et simulation – Mosim'10*, p. 1916-1925.
- Maliki F., L. Benyoucef et Z. Sari, 2011. Sensitivity analysis for a stochastic multi modal location-allocation integrated suppliers' selection problem. *The international conference on industrial engineering and systems management – IESM'11, 25 au 27 mai, Metz, France*.
- Meixell M.J. et V.B. Gargeya, 2005. Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research, Part E*, 41: 531-550.
- Moinzadeh K. et S. Nahmias, 1988. A continuous review model for an inventory system with two supply modes. *Management Science*, 34: 761-773.
- Nozick L.K. et M.A. Turnquist, 1998. Integrating inventory impacts into a fixed-charge model for locating distribution centers. *Transportation Research, Part E* vol. 34, No. 3, p. 173-186.
- Nozick L.K. et M.A. Turnquist, 2001. Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers. *European Journal of Operational Research*, 129, p. 362-371.
- Qi X., 2007. Order splitting with multiple capacitated suppliers. *European Journal of Operational Research*, 178: 421-432.
- ReVelle C.S. et H.A. Eiselt, 2005. Location analysis: A synthesis and survey. *European Journal of Operational Research*, 165: 1-19.
- Sculli D. et Y.W. Shum, 1990. Analysis of a continuous review stock-control model with multiple suppliers. *Journal of Operational Research Society*, Vol. 41, pp. 873-877.
- Sedarage D., O. Fujiwara et H.T. Luong, 1999. Determining optimal order splitting and reorder level for N-supplier inventory systems. *European Journal of Operational Research*, 116: 389-404.
- Shen Z. J. M., C. Coullard et M.S. Daskin, 2003. A Joint Location-Inventory Model. *Transportation Science*, 37(1), p. 40-55.
- Shu J., C.P. Teo et Z.J.M. Shen, 2005. Stochastic Transportation-Inventory Network Design Problem. *Operations Research*, 53(1), p. 48-60.
- Tanonkou G.A., L. Benyoucef et X. Xie, 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*.
- Tanonkou G.A., L. Benyoucef et X. Xie, 2008. Design of stochastic distribution networks using lagrangian relaxation. *IEEE Transactions on automation science and engineering*, vol. 5, No. 4, p. 597-608.
- Verma R. et M.E. Pullman, 1998. An analysis of the supplier selection process. *Omega. Int. J. Mgmt. Sci.*, vol. 26, No. 6 p. 739-750.
- Weber C.A., J.R. Current et W.C. Benton, 1991. Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational research*, 50, p. 2-18.