

Les déterminants de la meilleure stratégie d'approvisionnement

Mouna Derbel^{#1}, Wafik Hachicha^{*2}

[#]Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Sfax, Route de l'Aéroport km4, Sfax 3018, Tunisie

¹mouna.derbel@ihecs.usf.tn

^{*}Department of Industrial Engineering, College of Engineering, Taif University, P.O Box 11099, Taif 21944, Saudi Arabia

²wafik.hachicha@isgis.usf.tn

Résumé— L'objectif de ce travail est de déterminer la meilleure stratégie d'approvisionnement parmi deux stratégies possibles : système indépendant ou transbordement en résolvant un programme non linéaire stochastique dans lequel la fonction objectif à minimiser peut être le niveau de stock ou le coût total. Nous essayerons de distinguer entre les scénarios où la politique de transbordement est préférable des scénarios où la politique du système indépendant est préférable pour calculer la médiane de chaque variable dans le programme. Un test d'hypothèse de comparaison des médianes est appliqué pour déterminer les variables les plus influents sur la décision et les variables qui n'exercent pas d'influence sur la décision. Une comparaison est faite entre deux hypothèses : (1) Chaque demande suit une loi normale de moyenne 100 et d'écart type 10. (2) Chaque demande suit une loi normale tronquée de moyenne 100 et d'écart type 50 à l'intervalle [0,200]. On suppose que la dépendance est linéaire et qu'elle est mesurée par le coefficient de corrélation de Pearson. Les résultats trouvés montrent que le facteur le plus influent est la dépendance entre les demandes. Généralement, une corrélation positive assez élevée est en faveur de la mise en place d'un système indépendant alors qu'une corrélation faible permet d'opter à une politique de transbordement. Enfin, cet article présente brièvement quelques directions de recherche futures et quelques perspectives.

Keywords—Le transbordement, Système indépendant, Coût total, Niveau de stock, Demande individuelle, Dépendance linéaire.

I. INTRODUCTION

La politique de l'effet de consolidation peut être réalisé par différentes stratégies ou méthodes [1] à savoir : la centralisation ou le regroupement des stocks, le regroupement virtuel, le transbordement (connu sous son nom en anglais, *transshipment*), la centralisation des commandes, la division des commandes, les composants communs, le report, le regroupement des capacités, le regroupement des produits et la substitution des produits. Les politiques fréquemment utilisées dans la littérature sont le regroupement des stocks (la centralisation) et le transbordement. Le regroupement des stocks est une application du concept de l'effet de consolidation dans la gestion des stocks. C'est un outil stratégique permettant de regrouper les stocks dans un

emplacement centralisé plutôt que de stocker des produits sur plusieurs emplacements, réduisant ainsi la variabilité des demandes. Le comportement de la demande détermine les performances de la méthode de regroupement des stocks [2]. Les travaux concernant le regroupement des stocks sont multiples et traités de plusieurs points de vue dans la littérature. La plupart de ces études ont pour objectif principal la comparaison en termes de profit (ou de coût) et/ou en termes de niveau de stock entre un système décentralisé et plusieurs formes d'un système centralisé. Concernant la politique du transbordement, elle a été traitée aussi dans plusieurs travaux et de différents points de vue dans la littérature. Nous intéressons exactement aux recherches qui ont concentré sur la comparaison de cette politique avec d'autres politiques de l'effet de consolidation. Le rôle principal du transbordement est le transfert de stocks entre deux entités d'un même niveau de la chaîne, autrement dit généralement de celle qui est en surstock vers celle qui est en rupture.

La recherche sur la consolidation des stocks a fait l'objet de plusieurs publications ([3] and [4]). L'idée de base est que l'inventaire augmente à mesure que l'écart type de la demande ou du délai de livraison augmente et par conséquent les entreprises peuvent tenter de réduire la variation inhérente en mettant en commun les inventaires [5]. Les économies qui découlent de la mise en commun de l'incertitude peuvent être réalisées de plusieurs façons y compris la centralisation des stocks et les transbordements. Souvent, ces économies sont déterminées sur la base d'un système de distribution indépendant où chaque client sur le marché est exclusivement desservi par un fournisseur [6]. Une hypothèse clé dans l'évaluation des économies est que les demandes, les délais de livraison et les commandes durant les délais de livraison sont des variables aléatoires normalement distribuées (voir par exemple [7],[8] and [9]).

Dans ce travail, nous essayerons de déterminer les facteurs qui entrent dans le calcul du coût total et du niveau stock total qui influencent la décision dans le cadre des modèles d'effets de consolidation. La décision concerne le choix entre un système indépendant et la politique de transbordement.

L'organisation de cet article est réalisée comme suit : dans la deuxième section, nous exposons l'expression du coût total dans un contexte de consolidation. Une analyse de sensibilité en termes de niveau de stock total est faite dans la troisième section. L'effet d'une demande plus dispersée est dévoilé dans la quatrième section. Dans la cinquième section, nous montrons l'effet des variables sur le choix de la politique

d'allocation optimale en termes de coût total. Et enfin, la conclusion de cet article est montrée dans la sixième section.

II. COUT TOTAL DANS UN CONTEXTE DE CONSOLIDATION

D'après [5] et [6], l'analyse de coût total (CT) dans le cas de groupage de l'inventaire considère toujours la somme de trois composants qui sont : le coût de cycle de stock (CSc), le coût de stock de sécurité (SSc) et le coût de distribution (DC).

A. Coût de cycle de stock (CSc)

Le cycle de stock total comme étant le résultat de la consolidation de l'inventaire à partir de plusieurs emplacements n (ou points de stockage qui servent la demande) en un nombre inférieur de m emplacements (avec $n \geq m$) est donné d'après [8] par l'équation suivante :

$$CSc = \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^m EOQ_f, \text{ avec}$$

$$EOQ_f = \sqrt{2 \cdot \frac{P_f}{h_f} \cdot E \left(\sum_{i=1}^n (W_{i,f} \cdot D_i) \right)}$$

et

CSc : est le cycle de stock total pour les m emplacements centralisés,

EOQ_f : est la quantité économique commandée chez l'emplacement centralisé f ,

D_i : est la moyenne de la demande pendant une période chez l'emplacement décentralisé i ,

P_f : est le coût de traitement des commandes dans l'emplacement centralisé f (dinars par commande),

h_f : est le coût unitaire de détention d'inventaire par période à un emplacement centralisé f (dinars par période)

$W_{i,f}$: est la proportion de la demande moyenne pendant une période de temps transférée de l'emplacement décentralisé i à l'emplacement centralisé f (avec $0 \leq W_{i,f} \leq 1$ pour tout i et

f et $\sum_{f=1}^m W_{i,f} = 1$ pour tout i).

B. Coût de stock de sécurité (SSc)

D'après [7], le stock de sécurité total pour m emplacements centralisés suite à la consolidation des stocks de n systèmes décentralisés est donné par :

$$SSc = k \sum_{f=1}^m \sigma_f = k \cdot \sum_{f=1}^m \left[E \left(\sum_{i=1}^n W_{i,f} \cdot D_i \right)^2 \cdot s_{LT,f}^2 + V \left(\sum_{i=1}^n W_{i,f} \cdot D_i \right) \cdot E(LT_f) \right]$$

$$V \left(\sum_{i=1}^n W_{i,f} \cdot D_i \right) = \left[\left(\sum_{i=1}^n W_{i,f}^2 \cdot s_{D,i}^2 \right) + 2 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,f} W_{j,f} \rho_{ij} s_{D,i} s_{D,j} \right) \right]$$

avec

SSc : est le stock de sécurité total pour les m emplacements centralisés ;

LT_f : est la moyenne de délai de livraison chez l'emplacement centralisé f ;

$s_{LT,f}$: est l'écart type de délai de livraison pour l'emplacement centralisé f ,

k : un facteur de stock de sécurité,

ρ_{ij} : est la corrélation entre les demandes des emplacements décentralisés i et j ,

$s_{D,i}$: est l'écart type de la demande chez l'emplacement décentralisé i durant une période.

σ_f : est l'écart type de la demande chez l'emplacement f durant la période de délai de livraison.

On peut remarquer que:

$$\sigma_f = \sqrt{E \left(\sum_{i=1}^n W_{i,f} \cdot D_i \right)^2 \cdot s_{LT,f}^2 + V \left(\sum_{i=1}^n W_{i,f} \cdot D_i \right) \cdot E(LT_f)}$$

σ_f^2 n'est autre que la variance d'une loi composée alors que $k \sigma_f$ représente le quantile de cette distribution.

Les formules précédentes restent valables dans le cas où les hypothèses suivantes sont respectées :

- Tous les acteurs utilisent l'approche de facteur de sécurité (($k.s$) avec s représente l'écart type de la demande durant le délai de livraison) pour déterminer le niveau de stock de sécurité avant et après la consolidation.
- Tous les acteurs utilisent le même facteur de stock de sécurité pour avoir le niveau de service souhaité.
- Tous les acteurs adoptent l'approche EOQ pour déterminer la quantité commandée et l'approche ROP (reorder point) pour le contrôle de stock.
- La moyenne de la demande totale de tout le système reste la même après consolidation.

Le délai de livraison ainsi que la demande sont des variables aléatoires indépendantes.

C. Coût de distribution (DC)

Le coût de distribution total est donné par l'expression suivante :

$$DC = \sum_{f=1}^m \sum_{i=1}^n d_{f,i} \cdot W_{i,f} \cdot D_i$$

Avec $d_{f,i}$ est le taux de DC représentant le coût unitaire de transporter un article d'un emplacement centralisé f à l'emplacement décentralisé i

Dans ce contexte de consolidation, il y a deux façons différentes pour satisfaire la demande éventuelle dans la littérature :

- Soit que tous les emplacements centralisés offrent la même proportion de demande à chaque emplacement décentralisé [9];
- Soit qu'une première source sera chargée de satisfaire la demande et en cas de manque une deuxième source intervient pour satisfaire le reste de cette demande [4].

D. Règle d'allocation de Tyagi et Das

Selon cette approche d'allocation, l'effet de consolidation dépend des conditions des délais de livraison entre les différents emplacements. Dans le cas des emplacements centralisés ayant des moyennes et des variances des délais de livraison égales, les fractions de demandes à offrir pour chaque emplacement décentralisé doivent être égales et elles sont comprises entre 0 et 1. Dans le cas contraire (différence des moyennes ou/et des variances), l'effet de consolidation est maximum lorsque les inventaires sont centralisés dans un seul emplacement [6]. En effet, la condition qu'un emplacement centralisé offre la même fraction de la demande pour chaque emplacement décentralisé est satisfaite une fois que cette fraction est égale à un. Les fractions de la demande doivent vérifier la relation suivante :

$$W_{1,f} = W_{2,f} = \dots = W_{n,f} = W_f \text{ pour tout } i \text{ avec}$$

$$0 \leq W_f \leq 1 \text{ et } \sum_{f=1}^m W_f = 1$$

Dans le cas où W_f est égal à 0 ou 1 à l'optimum, les différents emplacements décentralisés seront servis par un seul emplacement central (politique de centralisation/ Une seule source de livraison) comme mentionné dans la figure 1.

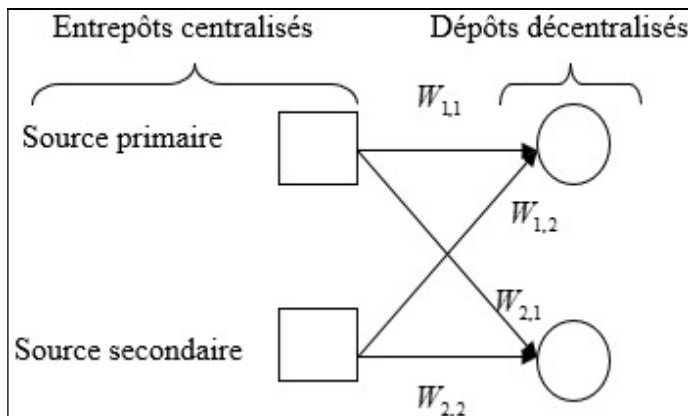


Fig 1. Règle d'allocation de Tyagi et Das

E. Règle d'allocation de Ballou et Burnetas

Sous la règle d'allocation de [4], la demande pour un emplacement de stockage dépend de la demande de son principal emplacement décentralisé mais aussi des demandes des autres emplacements de stockage qui se trouvent incapables de satisfaire les besoins de leurs emplacements décentralisés. En effet, et comme mentionné dans la figure 2, chaque emplacement centralisé f doit fournir la même

fraction de la demande pour son emplacement décentralisé i que les autres en respectant la condition :

$$W_{1,1} = W_{2,2} = W_p \text{ et } W_{1,2} = W_{2,1} = 1 - W_p$$

L'indice p indique l'emplacement principal ou primaire pour chaque emplacement centralisé.

Dans le cas où W_p est égal à 0 ou 1 à l'optimum, chaque emplacement décentralisé sera servi exclusivement par un seul emplacement centralisé (système de distribution indépendant). Ceci veut dire qu'il n'y a pas intérêt d'appliquer un système centralisé où un seul emplacement prend la charge de servir tous les emplacements décentralisés [10].

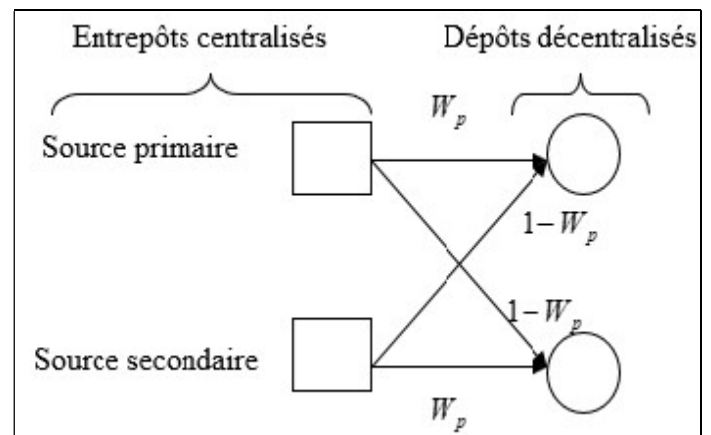


Fig 2. Règle d'allocation de Ballou et Burnetas

Dans le cas où W_p est compris entre 0 et 1, il est préférable d'appliquer une politique de transbordement régulier. Ceci veut dire que tous les emplacements décentralisés seront servis par tous les emplacements centralisés. Une valeur de W_f compris entre 0 et 1 peut entraîner l'application de la même politique suivant la formule d'allocation de [9] mais cette solution n'est pas toujours optimale [6].

Plusieurs auteurs comme [4], [5], [6], [9], [10] et [11] considèrent le cas particulier où n=m=2. Dans la suite de ce travail, les résultats présentés considèrent aussi le même cas (deux emplacements décentralisés et deux emplacements centralisés) pour des raisons de comparaison avec les travaux antérieurs.

III. ANALYSE DE SENSIBILITE EN TERMES DE NIVEAU DE STOCK TOTAL

A. Programme

La valeur optimale de W_p est difficile à déterminer en

résolvant l'équation : $\frac{\partial ST}{\partial W_p} = 0$ pour différentes conditions

sur la demande et le délai de livraison. Pour cette raison, on applique la programmation et l'optimisation non linéaire pour les 10000 différents scénarios obtenus par simulation des

différents paramètres dans l'expression de niveau de stock total. L'objectif de cette analyse de sensibilité est de :

- Etudier le comportement de la valeur optimale de W_p sous la règle d'allocation de Ballou et Burnetas.
- L'effet des règles d'allocation de Tayagi et Das et de Ballou et Burnetas sur les niveaux optimaux des stocks.
- Identifier les variables les plus influentes sur les niveaux de stock entre les deux règles d'allocation.

En remplaçant (w_{11} et w_{22}) par (w_p) et (w_{21} et w_{12}) par ($1 - w_p$) dans l'expression général du niveau de stock total, on obtient l'expression du niveau de stock total suivant la règle d'allocation de Ballou et Burnetas. Le programme non linéaire stochastique à résoudre avec le logiciel R est alors le suivant :

$$\min T = k \sqrt{\left(w_p D_1 + (1-w_p) D_2 \right)^2 s_{LT1}^2 + \left(w_p^2 s_{D1}^2 + (1-w_p)^2 s_{D2}^2 + 2w_p(1-w_p) \rho_{12} s_{D1} s_{D2} \right) LT_1^2} + k \sqrt{\left((1-w_p) D_1 + w_p D_2 \right)^2 s_{LT2}^2 + \left((1-w_p)^2 s_{D1}^2 + w_p^2 s_{D2}^2 + 2w_p(1-w_p) \rho_{12} s_{D1} s_{D2} \right) LT_2^2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\frac{\left(w_p D_1 + (1-w_p) D_2 \right) P_1}{h}} + \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\frac{\left((1-w_p) D_1 + w_p D_2 \right) P_2}{h}}$$

Sous contrainte : $0 \leq W_p \leq 1$

B. Méthodologie

L'objectif est de faire une analyse de sensibilité de la solution optimale à la variation des différents coefficients de la fonction objectif. Pour réaliser un tel objectif, 10000 réalisations sont générées de façons indépendantes pour chacune des variables aléatoires de la fonction objectif à savoir les moyennes et les écarts types des demandes, les moyennes et les écarts types des délais de livraison, la corrélation entre les demandes, les coûts de traitement des commandes et les coûts unitaires de possession. La résolution de ce programme non linéaire ainsi que la génération des 10000 réalisations pour chaque variable aléatoire sont effectuées en utilisant le logiciel R et les Packages : DEoptim (Voir [12]), e1071, tseries et msm.

Le tableau I présente les caractéristiques de la loi utilisée dans la simulation des réalisations pour chaque variable. On suppose que toutes les variables sont uniformément distribuées. A l'exception des variables D_1 et D_2 qui sont supposées suivre chacune une loi normale de moyenne $\mu = 100$ et d'écart type $\sigma = 10$.

TABLEAU I
LISTE DES PARAMETRES ET VARIABLES A SIMULER

Variables et paramètres	Les bornes min et max de chaque loi uniforme	
	Min	Max
LT_1 et LT_2 (par jours)	1	5
$s_{LT,1}$ et $s_{LT,2}$ (par jours)	3	30
$s_{D,1}$ et $s_{D,2}$ (par jours)	0.50	2
Corrélation	-1	1
k	1	3

P_1 (dinars/ commande)	17	67
P_2 (dinars/ commande)	20	140
h (dinars/ unité/ jour)	0.10	0.68
Coût de distribution unitaire $d_{1,1}$ et $d_{2,2}$ (dinars/ unité)	0.10	0.15
Coût de distribution unitaire $d_{1,2}$ et $d_{2,1}$ (dinars/ unité)	0.35	0.40

$\alpha = LT_2 / LT_1$: est un ratio entre les moyennes des délais de livraison pour les deux emplacements décentralisés.

$\beta = s_{LT,2} / s_{LT,1}$: est un ratio entre les écarts types des délais de livraison pour les deux emplacements décentralisés.

$\gamma = P_2 / P_1$: est un ratio entre les coûts unitaires de traitement des commandes chez les emplacements décentralisés 1 et 2.

$\delta = D_2 / D_1$: est le ratio entre les moyennes des demandes aux emplacements décentralisés 1 et 2.

$\varepsilon = s_{D,2} / s_{D,1}$: est un ratio entre les écarts types des demandes aux emplacements décentralisés 1 et 2.

C. Statistiques pour les valeurs optimales de W_p

On peut remarquer d'après le tableau II que la distribution de W_p à l'optimum est symétrique par rapport à 0.500. Sur 10000 scénarios, Il y a 7625 scénarios où la solution optimale W_p du problème d'allocation de la demande est comprise entre 0 et 1 sous l'hypothèse de remplissage croisé. La solution optimale est égale à 1 et 0 dans 1170 et 1205 des cas respectivement.

Tableau II
Statistiques descriptives et test de normalité pour les valeurs de W_p

	Moy.	Méd.	Variance	Skew.	Kurt.	Test Jarque Bera
W_p (10000 obs.)	0.49	0.49	0.088	0.005	-0.66	183.1**
$0 < W_p < 1$ (7625)	0.498	0.501	0.0382	0.008	0.11	4.0454

** : indique le rejet de l'hypothèse nulle de normalité des W_p

D. COMPORTEMENT DES DIFFERENTES VARIABLES SOUS L'HYPOTHESE DE BALLOU ET BURNETAS

Le tableau III présente les valeurs des médianes des différentes réalisations, obtenues par simulation, de chaque variable étudiée et pour chaque politique optimale sous l'hypothèse de Ballou et Burnetas. A titre d'exemple, la médiane des corrélations dans le cas où on décide d'appliquer un système indépendant (2375 cas) est égale à 0.463. Par contre, dans le cas où on décide d'appliquer un système basé sur le transbordement, la médiane est égale à -0.1225. Le même tableau donne les résultats des tests de comparaison des médianes (test de Kruskal-Wallis). Une variable ayant une différence significative entre les médianes est considérée comme une variable qui a une influence sur la décision de mettre en œuvre un système indépendant ou un système de transbordement et vice versa.

On peut conclure que l'hypothèse nulle d'égalité des médianes n'est pas acceptée indiquant que la corrélation influence le choix de la politique : un coefficient de corrélation élevé favorise l'application d'un système indépendant alors qu'une corrélation proche de zéro (légèrement négative ou légèrement positif) encourage les décideurs à suivre une politique de transbordement.

TABLEAU III
TEST NON-PARAMETRIQUE SUR LES RESULTATS DE L'OPTIMISATION DE NIVEAU TOTAL DU STOCK

Variables	Comportement des différentes variables sous BB			
	Valeur de la médiane		Test de Kruskal-Wallis	
	Système indépendant (2375)	Transbordement (7625)	Stat.	Sig.
ρ_{12}	0.46300	-0.1225	934.09	0.00
$s_{D,1}$	11.850	18.250	560.11	0.00
$s_{D,2}$	12.230	17.910	515.44	0.00
LT_1	2.694	3.087	91.83	0.00
LT_2	2.691	3.065	81.27	0.00
k	1.948	2.004	4.99	0.08
h	0.6226	0.3931	4.61	0.09
D_1	99.72	99.75	2.64	0.26
D_2	101.10	99.70	27.01	0.00
$s_{LT,1}$	1.2400	1.2410	0.57	0.75
$s_{LT,2}$	1.4030	1.2270	103.79	0.000
P_1	41.87	41.73	3.61	0.163
P_2	81.59	80.63	5.18	0.074
α	0.9974	0.9896	0.02	0.992
β	1.1920	0.9800	62.21	0.000
γ	1.9620	1.9070	6.12	0.047

δ	1.0320	1.0000	4.42	0.109
ε	1.0100	0.9997	3.32	0.190

Les valeurs en gris indiquent le rejet de l'hypothèse nulle d'égalité des médianes.

En comparant les médianes des écarts types de la demande 1 et la demande 2, on peut dire qu'un système indépendant est préférable lorsque l'écart type de la demande est faible alors que le transbordement est appliqué dans le cas où l'écart type de la demande est élevé. De même, en comparant les moyennes des délais de livraison 1 et 2, on peut dire qu'un système indépendant est préférable lorsque la moyenne de délai de livraison est faible alors que le transbordement est appliqué dans le cas où sa moyenne est élevée. L'effet de la moyenne de la demande et de l'écart type des délais de livraison sur la décision n'est pas clair puisqu'il est significatif pour l'emplacement 2 mais il n'est significatif pour l'emplacement 1.

Plus que les ratios β et γ sont élevés, plus que la décision sera en faveur d'un système indépendant et vice versa.

IV. EFFET D'UNE DEMANDE PLUS DISPERSEE

L'objectif de cette section est d'étudier l'effet d'une augmentation de la variance de la demande sur les résultats trouvés précédemment et surtout sur le choix de la politique optimale d'allocation. Nous suivons la même démarche et nous supposons que les différents paramètres suivent chacun la même loi uniforme. A l'exception, les variances des deux demandes D_1 et D_2 devront être modifiées. Au lieu de supposer des demandes normales indépendantes de moyenne 100 et d'écart type 10, les demandes sont supposées suivre une loi normale tronquée de moyenne 100 et d'écart type 50 à l'intervalle [0,200].

A. Statistiques descriptives pour les valeurs optimales de W_p

Le tableau IV présente les statistiques descriptives de la série relative au cas d'une demande suivant une loi normale tronquée. On peut remarquer que la distribution de W_p à l'optimum est symétrique par rapport à 0.500. Sur 10000 scénarios, Il y a 4225 scénarios où la solution optimale W_p du problème d'allocation de la demande est comprise entre 0 et 1 sous l'hypothèse de remplissage croisé. La solution optimale est égale à 1 ou à 0 dans 5775 des cas.

Tableau IV
Statistiques descriptives et test de normalité pour les valeurs de W_p (demande suit une loi normale tronquée)

	Moy.	Méd.	Variance	Skewness	Kurtosis	Test Jarque Bera
W_p (10000 obs.)	0.5035	0.5058	0.16907	-0.017	-1.62	1092.5**

$0 < W_p < 1$ (4225)	0.5081	0.5057	0.05843	0.0003	-0.66	77.12**
-------------------------	--------	--------	---------	--------	-------	---------

** : indique le rejet de l'hypothèse nulle de normalité des W_p

B. Comportement des différentes variables sous l'hypothèse de Ballou et Burnetas

Le tableau V présente les valeurs des médianes des différentes réalisations, obtenues par simulation, de chaque variable étudiée et pour chaque politique optimale sous l'hypothèse de Ballou et Burnetas. A titre d'exemple, la médiane des corrélations dans le cas où on décide d'appliquer un système indépendant (5775 cas) est égale à 0.1887. Par contre, dans le cas où on décide d'appliquer un système basé sur le transbordement, la médiane est égale à -0.2137.

Le même tableau donne les résultats des tests de comparaison des médianes (test de Kruskal-Wallis). L'hypothèse nulle d'égalité des médianes est rejetée indiquant que le coefficient de corrélation influence le choix entre les deux politiques : système indépendant et transbordement. Une corrélation faible permet de choisir le transbordement alors qu'une corrélation assez élevée permet de choisir un système indépendant.

Généralement, les résultats trouvés dans le cas d'une demande normale de moyenne 100 et d'écart type 10 restent valables pour le cas d'une demande suivant une loi normale tronquée de moyenne 100 et d'écart type 50 dans l'intervalle [0, 200]. Des nouvelles variables avec des différences des médianes qui sont significatives sont détectées telles que : la moyenne de la demande 1, la moyenne de la demande 2, le facteur de stock de sécurité k et le coût unitaire de détention h. L'augmentation (diminution) de k ou de h favorise la politique de transbordement (indépendance) par contre une demande moyenne plus élevée (plus faible) est en faveur de la politique d'indépendance (transbordement).

TABLEAU V

TEST NON-PARAMETRIQUE SUR LES RESULTATS DE L'OPTIMISATION DE NIVEAU TOTAL DU STOCK (DEMANDE SUIT UNE LOI NORMALE TRONQUEE)

Variables	Comportement des différentes variables sous BB			
	Valeur de la médiane		Test de Kruskal-Wallis	
	Système indépendant (5775)	Transbordement (4225)	Stat.	Sig.
ρ_{12}	0.1887	-0.2137	584.24	0.00
$S_{D,1}$	14.49	19.52	474.43	0.00
$S_{D,2}$	14.41	19.29	486.45	0.00
LT_1	2.896	3.163	66.433	0.00
LT_2	2.885	3.143	59.108	0.00
k	1.987	2.043	11.075	0.00
h	0.3233	0.3649	60.493	0.00
D_1	105.00	97.2500	85.240	0.00

D_2	105.40	97.5300	86.836	0.00
$S_{LT,1}$	1.277	1.245	7.6764	0.02
$S_{LT,2}$	1.3160	1.1570	137.52	0.00
P_1	41.91	41.98	0.0722	0.964
P_2	80.14	77.17	14.955	0.00
α	1	0.9914	2.495	0.28
β	1.0690	0.9539	49.301	0.00
γ	1.9370	1.8730	8.7423	0.01
δ	1.0320	1.0020	0.7293	0.69
ϵ	0.9946	1.0040	2.3275	0.31

Les valeurs en gris indiquent le rejet de l'hypothèse nulle d'égalité des médianes.

V. EFFET DES VARIABLES SUR LE CHOIX DE LA POLITIQUE D'ALLOCATION OPTIMALE EN TERMES DE COUT TOTAL

Dans cette section, nous faisons une analyse de sensibilité de la différence des coûts entre les deux politiques à la variation de chacune des paramètres de la fonction du coût total.

Le programme non linéaire à optimiser est le suivant :

$$\min \text{Cost} = ST.h + DC = CSs + SSc + DC$$

Sous contrainte : $0 \leq W_p \leq 1$.

A. Méthodologie

Nous suivons la même démarche que la section précédente sauf que la fonction objectif représentant le niveau de stock sera remplacée par le coût total résultant de la politique d'allocation choisie qui est déterminée suivant la valeur de W_p à l'optimum.

D'après le tableau VI, on peut dire que $W_p=1$ est la solution la plus fréquemment rencontrée indiquant qu'une politique de décentralisation est la plus bénéfique dans la majorité des scénarios. Il est clair que la distribution n'est pas symétrique. A l'opposé du cas du programme 2 (de la section précédente), on peut remarquer que dans le programme 3, il y a 8924 cas (5775 avec le programme 2) où la meilleure politique est de mettre en place un système indépendant et 1076 cas où le transbordement est préférable.

TABLEAU VI
Statistiques descriptives et test de normalité pour les valeurs de W_p

	Moy.	Méd.	Variance	Skewness	Kurtosis	Test Jarque Bera
W_p (10000 obs.)	0.94	1	0.045	-3.53	11.5	76264**

** : indique le rejet de l'hypothèse nulle de normalité des W_p .

B. Comportement des différentes variables sous l'hypothèse de Ballou et Burnetas

Le tableau VII présente les valeurs des médianes des différentes variables suivant que l'on choisit la première ou la deuxième politique ainsi que les résultats des tests de comparaison des médianes. Les variables corrélation, la moyenne et l'écart type des demandes 1 et 2, la moyenne et l'écart type des délais de livraison pour l'emplacement 1 et 2, le facteur k et le coût unitaire h présentent des médianes significativement différentes indiquant que ces variables sont celles qui déterminent la décision. Une corrélation ou une moyenne de demande ou un écart type des délais de livraisons plus élevé favorise le choix d'un système indépendant décentralisé. A l'opposée, un niveau plus élevé de l'une des variables restantes implique le choix d'une politique de transbordement.

TABLEAU VII
TEST NON-PARAMETRIQUE SUR LES RESULTATS DE L'OPTIMISATION DE COUT TOTAL (DEMANDE SUIV UNE LOI NORMALE TRONQUEE)

Variables	Comportement des différentes variables sous BB			
	Valeur de la médiane		Test de Kruskal-Wallis	
	Système indépendant (5775)	Transbordement (4225)	Stat.	Sig.
ρ_{12}	0.04679	-0.36760	263.12	0.00
$S_{D,1}$	15.990	21.14	198.17	0.00
$S_{D,2}$	16.06	20.510	159.80	0.00
LT_1	2.964	3.299	41.357	0.00
LT_2	2.952	3.205	21.818	0.00
k	1.953	2.335	184.44	0.00
h	0.3104	0.49230	562.62	0.00
D_1	103.300	68.680	372.10	0.00
D_2	103.000	69.810	327.76	0.00
$S_{LT,1}$	1.2690	1.2120	10.659	0.005
$S_{LT,2}$	1.2540	1.1610	16.516	0.00
P_1	42.24	42.08	0.6396	0.726
P_2	80.01	77.05	7.222	0.027
α	0.9991	0.9947	1.1921	0.551
β	0.9934	0.9796	1.5117	0.469
γ	1.898	1.8220	3.6743	0.159
δ	1	1.07	3.3515	0.187
ε	1.419	1.328	0.9833	0.611

Les valeurs en gris indiquent le rejet de l'hypothèse nulle d'égalité des médianes.

VI. CONCLUSION

La détermination de la stratégie optimale d'approvisionnement qui minimise le niveau de stock et le coût total dépend de la distribution de la demande individuelle. Il est utile alors de modéliser la distribution de la demande par la loi la plus adéquate pour déterminer le niveau optimal du stock.

La majorité des variables qui entrent dans le calcul du coût total représente des facteurs qui influencent la décision. Le facteur le plus influent est la dépendance entre les demandes. Généralement, une corrélation positive assez élevée est en faveur de la mise en place d'un système indépendant alors qu'une corrélation faible permet d'opter à une politique de transbordement. D'autres facteurs comme l'écart type de la demande et la moyenne des délais de livraison peuvent influencer la décision.

Ainsi, il est besoin de surmonter l'hypothèse restrictive d'une relation linéaire entre les demandes pour modéliser le vecteur de la demande par les fonctions copules. Il est nécessaire donc de contester l'hypothèse de normalité afin d'évaluer l'impact de différentes structures de dépendance ou la dépendance entre les queues des demandes sur la prise de décision dans le cadre des modèles d'effets de consolidation.

RÉFÉRENCES

- [1] O. Gerald, "Methods of Risk Pooling in Business Logistics and Their Application", Springer Briefs in Business, European University Viadrina Frankfurt (Oder), Germany, 2010.
- [2] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky, and E. Simchi-Levi, "Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies", McGraw-Hill/Irwin, 2003.
- [3] Landers T.L., Cole M.H., Walker B., Kirk R.W. (2000), The virtual warehousing concept, Transportation Research Part E, Vol. 36, No. 2, pp.115-125.
- [4] Ballou R.H., Burnetas A. (2003), Planning multiple location inventories, Journal of Business Logistics, Vol. 24, No.2, pp. 65-89.
- [5] Wanke P., Saliby E. (2009), Consolidation effects: whether and how inventories should be pooled, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 45, No. 5, pp. 678-692.
- [6] P. Wanke, "Consolidation effects and inventory portfolios", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 45, No. 1, pp. 107-124, 2009.
- [7] Evers P.T., Beier F.J. (1993), The portfolio effect and multiple consolidation points: a critical assessment of the square root law, Journal of Business Logistics, Vol. 14, No. 2, pp. 109-125.
- [8] Evers P.T. (1995), Expanding the square root law: An analysis of both safety and cycle stocks, Logistics and Transportation Review, Vol. 31, No. 1, pp. 1-20.
- [9] Tyagi R., Das C. (1998), Effects of correlated demands on safety stock centralization: patterns of correlation versus degree of centralization, Journal of Business Logistics, Vol. 20, pp. 205-213.
- [10] Wanke P. (2010), The impact of different demand allocation rules on total stock levels, Pesquisa Operacional, Vol. 30, No. 1, pp.33-52.
- [11] C.J. Corbett, and K. Rajaram K., "A generalization of the inventory pooling effect to non-normal dependent demand", Manufacturing & Service Operations Management, Vol. 8, No.4, pp. 351-358, 2006.
- [12] Ardia D., Boudt K., Carl P., Mullen K.M., Peterson B.G. (2011), Differential evolution with DEoptim, An Application to Non-Convex Portfolio Optimization, The R Journal, Vol. 3, No. 1, pp. 27-34.

