

# Stratégies d'Approvisionnement en Utilisant les Copules : Revue de la Littérature

Mouna Derbel<sup>#1</sup>, Wafik Hachicha<sup>\*2</sup>

<sup>#</sup>Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Sfax, Route de l'Aéroport km4, Sfax 3018, Tunisie

<sup>1</sup>mouna.derbel@ihecs.usf.tn

<sup>\*</sup>Department of Industrial Engineering, College of Engineering, Taif University, P.O Box 11099, Taif 21944, Saudi Arabia

<sup>2</sup>wafik.hachicha@isgis.usf.tn

**Résumé**— Les stratégies de l'effet de consolidation (connu sous son nom en anglais, *Risk pooling*) est l'un des outils les plus puissants utilisés pour faire face à la variabilité de la demande et/ou du délai de livraison dans la chaîne logistique. Une abondante littérature traitant ces stratégies utilisant un vecteur aléatoire composé par deux ou plusieurs demandes suppose dans la plupart des cas soit que les demandes sont indépendantes soit que ce vecteur demandes suit une loi normale multivariée. Malgré la littérature étendue sur ce sujet, les efforts pour examiner et analyser la recherche sur la déviation des hypothèses restrictives sont très limités. Pour cette raison, cet article présente tout d'abord les travaux concernant les stratégies de l'effet de consolidation (particulièrement le regroupement des stocks et le transbordement) en classant ces études suivant la dépendance de la demande avant et après l'introduction de la théorie des copules. En effet, la théorie des copules offre une plus grande souplesse et flexibilité dans la modélisation de la structure de dépendance. Ensuite, il propose de classer ces travaux selon la distribution de la demande, la méthode de dépendance et la stratégie de l'effet de consolidation utilisée. Les principales conclusions de cette revue sont les suivantes. (1) Le choix des lois qui modélisent une demande asymétrique et qui reflète la réalité est très rare. (2) Le choix de la théorie des copules pour la modélisation de la dépendance des demandes est très peu utilisé. (3) La majorité des articles adoptent la centralisation des stocks et le transbordement comme étant politiques d'approvisionnement. Enfin, cet article présente brièvement quelques directions de recherche futures et quelques perspectives.

**Keywords**— Le regroupement des stocks, Le transbordement, Revue de la littérature, Théorie des copules, Demandes dépendantes, Distribution de la demande

## 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]). En outre, il convient de noter qu'il y a une autre hypothèse commune qui est l'indépendance des demandes et des délais de livraison. Très peu d'études, cependant, ont contesté 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 [10]. Comment alors peut-on modéliser ce vecteur demandes pour tenir compte des caractéristiques de chaque demande et en même temps de la structure de dépendance entre les variables prises deux à deux ? On a besoin alors d'un outil statistique plus puissant offrant une plus grande souplesse et flexibilité dans la modélisation de la structure de dépendance. La solution est apportée par la théorie des copules.

L'organisation de cet article est réalisée comme suit : dans la deuxième section, nous exposons une classification des travaux concernant le regroupement des stocks et le débordement suivant la dépendance de la demande avant l'introduction de la théorie des copules. Une présentation de la théorie des copules est faite dans la troisième section. Les différents travaux utilisant les copules sont dévoilés dans la quatrième section. Et enfin, la conclusion de cet article est montrée dans la cinquième section.

## II. REVUE DE LA LITTÉRATURE AVANT L'INTRODUCTION DE LA THÉORIE DES COPULES

Les stratégies de l'effet de consolidation incluant la dépendance de la demande sont multiples. Nous présentons un état de l'art sur les travaux concernant le regroupement des stocks et le débordement en classant ces études suivant la dépendance de la demande avant et après l'introduction de la théorie des copules.

### A. Les modèles de l'effet de consolidation avec la loi normale multivariée

La plupart des travaux, qui ont traité l'effet de consolidation sur le coût attendu (ou profit attendu) ou sur le niveau optimal de l'inventaire, ont supposé que les demandes suivent une loi normale multivariée. Référence [12] ont étudié l'effet de la corrélation entre des demandes des produits normalement distribuées sur l'efficacité de la politique de centralisation. Ils ont conclu qu'une corrélation plus significative nécessite un niveau de stock de sécurité plus élevé alors qu'une corrélation moins élevée va entraîner un niveau d'inventaire plus faible. Une étude plus récente de [13] a étudié le problème de centralisation de l'inventaire pour des produits substituables. Référence [14] ont examiné l'effet de consolidation par la stratégie de débordement dans une chaîne d'approvisionnement composée d'un entrepôt et de plusieurs détaillants. Référence [6] a étudié l'effet de consolidation (centralisation/décentralisation) dans le but de la minimisation des coûts à travers un modèle analytique linéaire et la simulation. Il a supposé que les délais de livraison et les demandes sont des variables aléatoires indépendantes et normalement distribués et que les demandes des détaillants sont corrélées les unes aux autres. Référence [5] ont visé à explorer les impacts de la centralisation des stocks et des *transshipments* réguliers sur les coûts totaux et les niveaux de service. Ils ont fait une comparaison entre trois alternatives à savoir la centralisation des stocks, le *transshipment* et la décentralisation (système indépendant) en

termes de minimisation des coûts totaux (coût de possession du stock et coût de distribution) tout en maintenant un niveau de service considéré. Motivés par leur expérience dans le secteur des services après-vente, [15] ont étudié les avantages de la centralisation pour satisfaire les niveaux de service individuels pour trois clients. Ils ont étudié l'impact de la centralisation sur la réduction du niveau optimal du stock avec des distributions normales et lognormales des demandes. Ils ont montré que le bénéfice de l'effet de la centralisation est toujours strictement positif même lorsque les demandes des clients sont parfaitement corrélées positivement.

### B. Les modèles de l'effet de consolidation avec les autres lois usuelles multivariées

Les études de [16]-[20] sont parmi les rares à avoir considéré des demandes qui suivent des distributions générales. Les travaux de [19] and [20] ont étudié l'effet de la centralisation sur le coût attendu. Ces auteurs ont prouvé qu'un système centralisé permet de minimiser les coûts qu'un système décentralisé sous différentes conditions. Référence [17] ont étudié l'effet de la variance de la demande sur le bénéfice de centralisation (gain en termes de coût dû à la mise en place d'un système centralisé). Ils ont montré que l'augmentation de la variabilité de la demande entraîne toujours une augmentation du gain de la centralisation pour un même degré de dépendance entre les demandes. Le travail se limite à analyser l'effet de la variabilité de la demande sur le coût sans aborder son effet sur le niveau de l'inventaire. Référence [21] ont étudié les avantages de l'effet de consolidation via des débordements dans le cadre de demandes normales multivariées corrélées. Référence [18] a étendu le modèle de débordement discuté dans [21] à des demandes ayant des distributions générales mais identiques. Référence [16] ont montré que les coûts sous l'effet de consolidation augmentent avec des degrés positifs de dépendance entre l'offre et la demande.

## III. THÉORIE DES COPULES

La théorie des copules, introduite pour la première fois en [22] est un outil statistique très puissant permettant une plus grande flexibilité et souplesse dans la modélisation des données multivariées. L'objectif des copules est de factoriser ou décomposer une distribution jointe en deux éléments : les distributions marginales d'une part et une fonction mathématique qui fait la liaison entre elles en modélisant leurs dépendances. Ce qui permet de faire des extensions de certains résultats obtenus dans un cadre univarié au cas multivarié. Les distributions multidimensionnelles ainsi obtenues sont plus générales et sont davantage en adéquation avec la réalité. Les fonctions copules décrivent comment les distributions marginales individuelles sont couplées entre elles par une distribution jointe. Même si les distributions des marginales sont différentes, il devient possible de déterminer une distribution multivariée pour ces données par l'utilisation des fonctions copules. Le principe de cette théorie consiste en premier lieu de modéliser chaque série par une loi univariée usuelle, estimer les paramètres de cette loi puis à transformer

les données à l'uniforme [0,1] en utilisant l'inverse de la fonction de répartition. Cette transformation n'affecte pas la structure de dépendance mais permet d'avoir la même distribution pour les marginales qui est la loi uniforme continue [0,1]. En second lieu, il faut choisir parmi un ensemble des fonctions copules celle qui décrit le mieux la structure de dépendance. De cette façon, une distribution multivariée est caractérisée non seulement par les distributions des marginales mais aussi par la copule qui décrit la structure de dépendance entre ces distributions. Les distributions multidimensionnelles ainsi obtenues sont davantage en adéquation avec la réalité. L'approche par les copules connaît depuis l'année 1999 un succès sans équivalent dans les domaines de finance, gestion des risques et actuariat. Elle est utilisée également dans le domaine de climatologie et de médecine. Son utilisation dans le domaine de gestion industrielle est très rare malgré que les différentes variables étudiées ne soient pas indépendantes dans le cas pratique. Le premier travail qui a essayé de montrer l'intérêt de tenir en compte des copules dans la modélisation du vecteur des demandes est celui de [10]. Quelques autres travaux ont essayé d'appliquer cette théorie dans le domaine industriel mais leur nombre reste réduit. On va revenir dans la suite aux différents travaux utilisant les copules.

#### IV. REVUE DE LA LITTÉRATURE : LES MODELES DE L'EFFET DE CONSOLIDATION AVEC LA THEORIE DES COPULES

Dans la littérature traitant la centralisation ou le transbordement de point de vue coût (ou profit) et niveau de l'inventaire, l'effet de la dépendance sur le niveau optimal de l'inventaire et sur les coûts attendus a été étudié en supposant des demandes qui suivent une loi normale multivariée. Cette hypothèse n'est pas vérifiée dans le cas pratique, reste restrictive et entraîne une sous-estimation de niveau de l'inventaire. Quelques travaux plus récents tels que ceux de [10], [23], [24], [25], [26], [27] and [28] ont critiqué le fait de supposer que le vecteur de la demande est normalement distribué et ils ont utilisé les fonctions copules pour modéliser la structure de dépendance entre les demandes. Référence [10] sont les premiers qui ont utilisé cet outil puissant de modélisation des données multivariés dans le domaine de gestion des opérations. Leur article reste une référence aujourd'hui sur l'utilisation des copules pour modéliser le vecteur des demandes. Ils ont étudié l'impact de la centralisation sur la maximisation des profits et la réduction des coûts par l'utilisation des copules archimédiennes bivariées et des copules normales multivariées. Référence [23] ont étudié l'effet de la centralisation sur le niveau de l'inventaire en faisant une analyse de sensibilité montrant l'effet de la centralisation sur l'efficacité de chacun des facteurs suivants: le ratio marginal, la loi qui modélise la distribution marginale de la demande ainsi que le coefficient d'asymétrie de Skewness, le taux de Kendall (mesure de dépendance entre deux variables) et la copule choisi pour modéliser la structure de dépendance (trois copules archimédiennes utilisées: Gumbel, Clayton et Frank). Ils ont montré que le signe ainsi que l'amplitude de l'effet de

consolidation dépendent de tous ces facteurs à la fois. Référence [24] a utilisé les copules (archimédiennes et normales) pour générer des données bivariées représentant deux séries de demandes. L'objectif est de déterminer la stratégie optimale à suivre pour minimiser le coût total de l'entreprise. Il a le choix entre ces trois cas : garder un système décentralisé ou rendre le système centralisé ou appliquer une politique de *Transshipment*. Les résultats montrent la sensibilité de la décision à entreprendre avec la copule utilisée dans la modélisation de la structure de dépendance. La référence [25] ont utilisé les copules (elliptiques et archimédiennes (copule de Gumbel et de Clayton)) pour générer des données bivariées représentant deux séries de demandes. Ils ont supposé que les demandes individuelles sont distribuées selon la loi Béta. Leur objectif est de déterminer la démarche optimale à suivre pour minimiser le niveau de stock et maximiser le bénéfice sous une contrainte environnementale basée sur les émissions de carbone. Ils ont le choix entre quatre cas : garder un système décentralisé ou rendre le système centralisé ou appliquer une politique de *transshipment* ou appliquer une politique de centralisation des commandes. Ces auteurs ont démontré que, si la contrainte environnementale est obligatoire, alors le niveau optimal des stocks et des émissions de carbone diminue avec l'augmentation des degrés de dépendance de la demande. Ils ont constaté que la centralisation des stocks peut générer des bénéfices et des émissions de carbone plus élevés que les politiques de la centralisation des commandes et de *transshipment*. La référence [26] ont aussi modélisé les demandes marginales par une loi Béta pour montrer l'effet de l'asymétrie de la distribution de la demande sur le choix de la meilleure stratégie d'approvisionnement (consolidation ou pas de consolidation). Ils ont étudié l'effet du choix de la copule sur le degré d'efficacité de la stratégie de consolidation dans la réduction du niveau optimal du stock. Ils ont conclu que ce n'est pas le degré de dépendance qui est le seul facteur qui entre dans la détermination de la politique à choisir mais qu'il y a un autre facteur rarement pris en considération par les industriels qui est la structure de dépendance entre les demandes. Ces auteurs ont montré que le niveau de stock pour un niveau de corrélation donné varie suivant la copule utilisée dans la modélisation de la dépendance entre les demandes. La référence [27] ont étudié le degré de sensibilité de la décision de choix de l'une des politiques de transbordement, indépendance ou centralisation à la copule choisie pour modéliser la dépendance visant à minimiser le coût total. Les demandes sont supposées dépendantes et cette dépendance peut être linéaire (copule normale) ou non linéaire (copule Clayton, Gumbel, Frank). Ils ont montré, en gardant les paramètres du programme non linéaire inchangés mais en modifiant chaque fois la distribution du vecteur des demandes (lois des demandes et/ou la copule qui modélise la dépendance entre ces demandes), des divergences dans les décisions à entreprendre à l'optimum dans environ 9% des cas. Ils ont montré aussi que le mauvais choix de la distribution de la demande même si la copule utilisée est plus adéquate peut engendrer des divergences qui varie entre 2.2%

et 4% selon que les distributions des demandes sont symétriques ou asymétriques. Le degré de divergence augmente une fois les deux demandes qui sont réellement asymétriques (symétriques) sont supposées symétriques (asymétriques).

#### V. MÉTHODOLOGIE DE LA REVUE

Selon [29], trois approches de base ont été utilisées pour mener une revue sur l'état des connaissances dans un domaine ou un sujet. La première approche est la méthode Delphi par laquelle des experts connaissant bien le domaine sont interrogés. La deuxième approche est la méta-analyse dans laquelle des études empiriques sur un sujet spécifique sont rassemblées et analysées statistiquement. La troisième approche, qui est adoptée dans cette revue, est l'analyse de contenu pour une description systématique, qualitative et quantitative du contenu manifesté de la littérature dans un domaine. L'analyse de contenu, également connue sous le nom de revue systématique, est une méthode de recherche observationnelle utilisée pour évaluer systématiquement le contenu de toutes les formes de communication enregistrée. Cette méthode contribue également à la littérature en termes d'identification de diverses catégories [29], créant ainsi un domaine d'opportunités de recherche. L'objectif principal de la méthode d'analyse de contenu est d'identifier et de classer les principales contributions scientifiques à un domaine ou à une question et les résultats de la méthode sont souvent présentés et discutés de manière descriptive. L'application des principes de l'examen systématique aidera à limiter les biais (erreurs systématiques), à réduire les effets de hasard, à renforcer la légitimité et l'autorité des preuves qui en découlent et à fournir des résultats plus fiables sur lesquels des conclusions seront tirées et des décisions seront prises. En général, la procédure de réalisation d'une analyse de contenu repose sur deux grandes étapes : la définition des sources et procédures pour la recherche des articles à analyser et, la définition des catégories instrumentales pour le classement des articles sélectionnés. Ces principes ont été appliqués dans la présente revue de la littérature concernant les stratégies d'approvisionnement utilisant les copules.

#### A. Présentation des critères

Les travaux de recherche qui considèrent la corrélation des demandes sont importants et reflètent la réalité dans le cas pratique. Ainsi, pour le cas de dépendance de la demande (avant et après l'introduction de la théorie des copules) et pour chaque étude qui suit ce cas, nous proposons de les classer selon les dimensions présentées dans le tableau I.

TABLEAU I  
 CRITERES DE CLASSIFICATION DES TRAVAUX DE RECHERCHE

Critères de classification	
La distribution de la demande (DD)	Normale (A)
	Uniforme (B)
	Béta (C)
	Autres (D)
La dépendance entre	Théorie des copules (E)

les demandes (DED)	Coefficient de corrélation et modèles linéaires (F)
La stratégie de consolidation (SC)	Centralisation des stocks (G)
	Transbordement (H)
	Centralisation des commandes (I)
	Autres (J)

Nous proposons ainsi une manière de structurer la comparaison de ces travaux et de les situer selon les dimensions mentionnées en haut. Le tableau II présente la classification des travaux de recherche ayant traité le problème de l'effet de consolidation (en cas de dépendance de la demande) en fonction des dimensions exposées dans cette section.

#### B. Analyse quantitative de la littérature

Deux critères ont été utilisés pour sélectionner les articles qui portent sur l'effet de consolidation dans la chaîne logistique. Si les statuts des articles ne remplissent pas l'un des deux critères, alors ils sont exclus. Les deux critères sont décrits ci-dessous :

(1) Les articles sont identifiés par la recherche informatisée des sujets. En plus, les références citées dans chaque article concerné sont examinées pour trouver des sources supplémentaires d'information. La revue se limite à la littérature publiée, y compris les bases de données électroniques telles que *ScienceDirect*, *Informaworld*, *Springer Link*, *Emerald Insight*, *JSTOR*, etc.

(2) Cette revue porte sur des articles de journaux seulement. Autres formes de publication tels que les papiers de conférences, les thèses de doctorat, les documents de travail, livres, etc. ne sont pas inclus. Le tableau II comporte un total de 20 articles qui sont considérés dans cette revue.

#### VI. RÉSULTATS DE LA REVUE

Dans cette section, les 20 articles examinés sont répartis en différents critères dans le tableau II. La présence d'une croix indique que l'article sur la première colonne appartient au critère associé à la colonne comme indiqué dans le tableau I.

TABLEAU III  
 CLASSIFICATION DES TRAVAUX DE RECHERCHE (EN CAS DE DEPENDANCE DES DEMANDES)

Réf	DD				DED		SEC			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
[12]	x					x	X			
[13]	x	x				x	X			x
[14]	x					x		x		
[24]	x				x		X	x		
[5]		x				x	x	x		
[15]	x			x		x	x			
[16]				x		x	x			
[17]				x		x	x			
[18]				x		x		x		
[19]				x		x	x			
[20]				x		x	x			

[21]	x					x		x		
[10]		x			x		x			
[23]			x		x		x			
[25]			x		x		x	x	x	
[26]	x		x		x		x	x		
[27]	x		x		x		x	x		
[28]	x				x		x	x		
[30]	x					x	x			
[6]	x	x				x	x			

Le résumé du tableau II est présenté dans le tableau III. La répartition des articles examinés qui relèvent de chaque critère est présentée pour la période (1989-2021). Ceci est suivi, dans la section suivante, par une discussion mettant en évidence certaines conclusions clés sur les contributions au sein de chaque critère proposé.

### VII. DISCUSSION ET ORIENTATIONS FUTURES

Cette section présente une discussion sur les résultats de la revue concernant chacun des critères de classification.

TABLEAU IIIII  
 REPARTITION DES ARTICLES SELECTIONNES

Critères de classification		1989-2021 (20 articles)	
		Nombre	Pourcentage
La distribution de la demande	Normale	11	44
	Uniforme	4	16
	Béta	4	16
	Autres	6	24
La dépendance entre les demandes	Théorie des copules	7	35
	Coefficient de corrélation et modèles linéaires	13	65
La stratégie de consolidation	Centralisation	17	60.72
	Transbordement	9	32.14
	Centralisation des commandes	1	3.57
	Autres	1	3.57

#### A. La distribution de la demande

Comme indiqué dans la Fig. 1, la loi normale est la distribution la plus utilisée (44%) pour la modélisation des demandes. Compte tenu de la nature complexe des marchés, des clients, des promotions, de la situation économique, l'utilisation de la loi normale reste restrictive et ne reflète pas toujours la réalité. Il est nécessaire de modéliser la distribution des demandes par la loi la plus adéquate. Mais, il est intéressant de préciser que la loi uniforme (16%) et la loi Béta (16%) sont également traitées par divers travaux de recherche. Il est à noter que la loi Béta prend en compte les différents coefficients de Skewness nul (distribution symétrique) ou non nul de signe positif (distribution asymétrie à droite) ou négatif (distribution asymétrie à gauche). Plusieurs travaux passés ont supposé une loi normale qui est une loi symétrique

donc elle ne permet pas de modéliser des cas où la distribution de la demande est asymétrique.

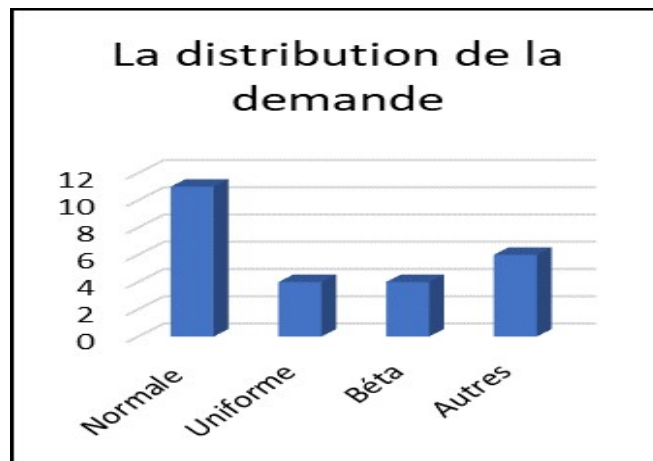


Fig 1. La distribution de la demande

#### B. La méthode de dépendance

La plupart des travaux de recherche sont basés sur l'utilisation d'un coefficient de corrélation (13 sur 20 articles, environ 65%) pour la modélisation de la dépendance entre les demandes (voir Fig. 2). Sauf sept articles (35%) ont utilisé les fonctions copules qui offrent une plus grande souplesse et flexibilité dans la modélisation de la structure de dépendance entre les demandes.

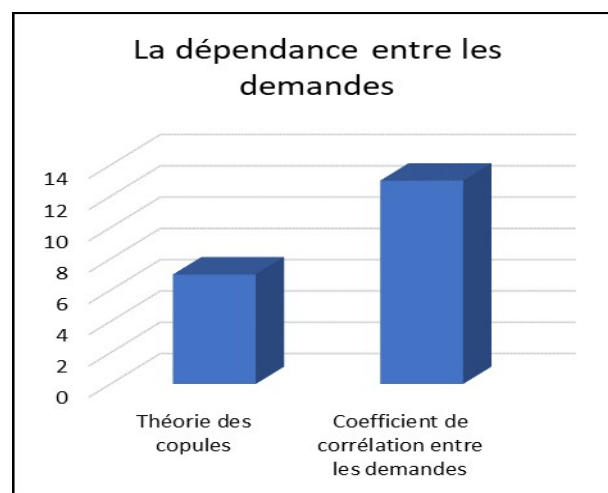


Fig 2. La dépendance entre les demandes

#### C. La stratégie de l'effet de consolidation

Comme indiqué dans la Fig. 3, la centralisation des stocks (60.72%) est la stratégie d'approvisionnement la plus utilisée parmi les stratégies de l'effet de consolidation. Il est important de préciser que le transbordement (32.14%) est également une politique importante utilisée par divers travaux de recherche.

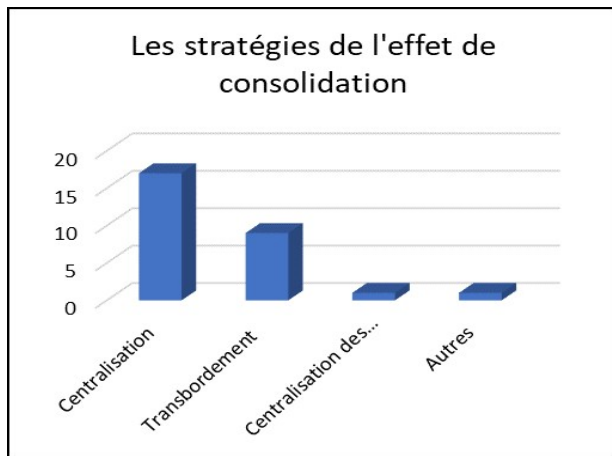


Fig 3. La stratégie de consolidation

## VIII. CONCLUSIONS

Cet état de l'art présente une revue de littérature des travaux de recherche comportant sur les stratégies de l'approvisionnement incluant la dépendance des demandes avant et après l'utilisation des copules entre 1989 and 2021. La méthodologie de la revue, à savoir l'analyse de contenu, est utilisée selon l'année de publication, la distribution de la demande, la méthode de dépendance et la stratégie de l'effet de consolidation. Seulement 20 articles trouvés et publiés dans des journaux scientifiques sont analysés et classifiés.

Nous avons conclu que l'utilisation de la théorie des copules a augmenté dans les dernières années de cette revue (2017-2021) ce qui prouve la nécessité de modéliser la distribution du vecteur des demandes par une loi multivariée la plus adéquate pour déterminer le niveau de stock optimal et/ou du coût optimal. Ainsi, il est besoin d'étudier de plus en plus l'application des copules dans la chaîne logistique en utilisant d'autres stratégies de l'effet de consolidation outre que la centralisation des stocks et le transbordement.

## 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] 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.

[11] M.J. Sobel, "Risk Pooling, In *Building Intuition: Insights from Basic Operations Management Models and Principles*", edited by D. Chhajed and T. J. Lowe, New York: Springer, pp. 155-174, 2008.

[12] N. Erkip, W.H. Housman, and S. Nahmias, "Optimal centralized ordering policies in multi-echelon inventory systems with correlated demands", *Management Science*, Vol. 36, No. 3, pp. 381-392, 1990.

[13] S. Netessine, and N. Rudi, "Centralized and competitive inventory models with demand substitution", *Operations Research*, Vol. 51, No. 2, pp. 329-335, 2003.

[14] K.E. Wee, and M. Dada, "Optimal policies for transshipping inventory in a retail network", *Management Science*, Vol. 51, No. 10, pp. 1519-1533, 2005.

[15] Alptekinoglu A., Banerjee A., Paul A., Jain N. (2013), Inventory pooling to deliver differentiated service, *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 15, No. 1, pp. 33-44.

[16] H.Y. Mak, and Z.J. Shen, "Pooling and dependence of demand and yield in multiple-location inventory systems", *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 16, No. 2, pp. 263-269, 2014.

[17] Y. Gerchak, and Q.M. He, "On the relation between the benefits of risk pooling and the variability of demand", *IIE Transactions*, Vol. 35, pp. 1027-1031, 2003.

[18] J. Zhang, "Transshipment and its impact on supply chain members' performance", *Management Science*, Vol. 51, No. 10, pp. 1534-1539, 2005.

[19] P.L Chang, and C.T. Lin, "On the effect of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem", *Journal of Operational Research Society*, Vol. 42, No. 2, pp. 1025-1030, 1991.

[20] M.S. Chen, and C.T. Lin, "Effects of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem", *Journal of Operational Research Society*, Vol. 40, No. 6, pp. 597-602, 1989.

[21] Dong L., Rudi N. (2004), Who benefits from transshipment? Exogenous vs. endogenous wholesale prices, *Management Science*, Vol. 50, No. 5, pp. 645-657.

[22] A.Sklar, "Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges", *Publications de l'Institut de statistique de l'Université de Paris*, Vol. 8, pp. 229-231, 1959.

[23] B. Aydin, G. Kemal, and K. Enis, "A copula approach to inventory pooling problems with newsvendor products", *Chapter 3 in Handbook of Newsvendor Problems: Models, Extensions and Applications*, International series in operations research and management science, pp.81-101, 2012.

[24] P. Wanke, "Consolidation effects and inventory portfolios", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 45, No. 1, pp. 107-124, 2014.

[25] L. Silbermayr, W. Jammernegg, and P. Kischka, "Inventory pooling with environmental constraints using copulas", *European Journal of Operational Research*, Vol. 263, pp. 479-492, 2017.

[26] M. Derbel and W. Hachicha, "The impact of demand dependence on optimal inventory level and pooling effect", *International Journal of Engineering & Management Science*, Vol. 8, Issue 2, pp. 55-63, 2020.

[27] M. Derbel, W. Hachicha, and A.M. Ajuaid, "Sensitivity analysis of the optimal inventory-pooling strategies according to multivariate Demand dependence", *Symmetry*, 13, 328, pp. 1-24, 2021.

[28] F. Rojas, P. Wanke, F. Bravo, and Y. Tan, "Inventory pooling decisions under demand scenarios in times of COVID-19", *Computers & Industrial Engineering*, 161, 2021.

[29] T. Li, S.T. Cavusgil, "A classification and assessment of research streams in international marketing", *International Business Review*, vol. 4, 1995, n° 3, pp. 251-277.

[30] Gaur S., Ravindran A.R. (2006), A bi-criteria model for the inventory aggregation problem under risk pooling, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 51, pp. 482-501.