

Planification et optimisation de la logistique de la construction dans les zones urbaines

par

Imen JARROUDI

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE
MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA PRODUCTION AUTOMATISÉE
M. Sc. A.

MONTRÉAL, LE 15 OCTOBRE 2020

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Imen Jarroudi, 2020



Cette licence Creative Commons signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Chaabane Amin, directeur de mémoire
Département de génie des systèmes à l'École de technologie supérieure

M. Paquet Marc, codirecteur de mémoire
Département de génie des systèmes à l'École de technologie supérieure

M. Mustapha Ouhimmou, président du jury
Département de génie des systèmes à l'École de technologie supérieure

M. Conrad Botton, membre du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

ELLE A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 11 SEPTEMBRE 2020

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je remercie toutes les personnes qui m'ont aidé pendant l'élaboration de mon mémoire chaleureusement et notamment mes directeurs, M. Amin Chaabane et M. Marc Paquet. Merci d'avoir encadré ce travail, avec beaucoup de compétence, d'enthousiasme et de disponibilité. Merci pour leurs conseils, leurs optimisme et confiance qu'ils m'ont accordés durant ces deux années.

J'exprime également mes plus vifs remerciements et mon respect au président du jury M. Mustapha Ouhimmou et au rapporteur M. Conrad Boton, professeurs à l'École supérieure de technologie. Merci d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à mes amis et collègues du Laboratoire de recherche sur l'ingénierie des organisations dans un contexte d'entreprise numérique (Numerix), pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire. Je pense particulièrement à Le Phuoc Luong, pour ses conseils, la pertinence de ses remarques qui a grandement valorisé ce travail.

Ce parcours n'aurait pu être le même sans le soutien constant de mon entourage. Je remercie enfin celles et ceux qui me sont chers. Je tiens à remercier mes parents, pour la patience et les encouragements reçus depuis le début de mes études de maîtrises. Mes remerciements vont à Youssef qui a tout fait pour m'aider, qui m'a soutenu et surtout supporté dans tout ce que j'ai entrepris.

Enfin, je ne saurais terminer sans souligner le soutien amical et chaleureux de mes amis de tous les jours qui m'ont soutenu durant ce parcours. Je m'abstiens de les nommer tellement la liste est longue.

Planification et optimisation de la logistique de la construction dans les zones urbaines

Imen JARROUDI

RÉSUMÉ

Une forte demande pour les projets de construction est attribuée en majeure partie à la croissance de la population en milieu urbain. Faisant face à des défis en logistique, de nombreux entrepreneurs voient leurs chaînes d'approvisionnement perdre coordination et efficacité, augmentant ainsi leurs frais d'exploitation. Cela est sans compter la nature même de l'industrie de la construction, cette dernière étant souvent décrite comme complexe, fragmentée et manquant d'intégration.

Dans ce mémoire, nous étudions la chaîne d'approvisionnement des projets de construction en zones urbaines, et ce en la modélisant tel un problème MILP. Ainsi, nous nous concentrerons sur le rôle des centres de consolidation comme une solution logistique permettant d'optimiser les opérations logistiques et de minimiser les coûts en mettant l'accent sur la nécessité d'une collaboration entre les différents acteurs. De telles solutions demeurent encore relativement inexplorées dans le secteur de la construction, surtout par rapport à d'autres industries. Nous visons alors à explorer leur impact potentiel sur la coordination des flux de matériaux de construction et réduire la congestion dans les chaînes d'approvisionnement en matériaux de construction. En nous concentrant sur le cas d'une chaîne d'approvisionnement de construction multi période, multi ressources et multi projets à deux échelons, nous optimisons le processus de décision quant à la sélection de fournisseurs et l'allocation des centres de consolidation, ainsi que la planification d'un tel type de projet.

Mots-clés : gestion de la chaîne d'approvisionnement de la construction, logistique de construction, modèle d'optimisation, centre de consolidation de la construction, mécanisme de coordination, sites encombrés, programmation en nombres mixtes.

Planification et optimisation de la logistique de la construction dans les zones urbaines

Imen JARROUDI

ABSTRACT

The growth in urban population has led to a high demand for construction. Contractors managing these construction projects are facing many challenges related to inefficiencies in logistics operations. The supply chain of these projects is separated and uncoordinated which can lead to higher cost and lower productivity on site. Add to that construction supply chain is subject to fragmentation and often described as complex and lacking integration.

In this project, we study the construction supply chain in the urban areas. The problem can be modeled as a MILP problem ; thus, we focus on the role of the use of consolidation centers as a logistic solution to optimize logistic operations and minimize costs in a collaborative scheme between the construction supply chain actors. In the construction industry, these solutions are still unexplored compared to other industries. Thus, we aim to study their impact on material flows to coordinate material flows and reduce congestion due to construction materials supply chains. In this problem, we optimize supplier selection decisions, construction consolidation centers decisions as well as construction projects scheduling optimization, in a multi-period multi-resource, and multi-project two-echelon construction supply chain.

Keywords: construction supply chain management, construction logistics, optimization model, construction consolidation center, coordination mechanism, congested sites, mixed-integer programming.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE.....	5
1.1 Définition de la problématique	5
1.2 Objectifs de recherche.....	7
1.3 La méthodologie de recherche	9
CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE	11
2.1 Définition de la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de la construction et problèmes afférents.....	11
2.2 Définition et problèmes de la logistique de la construction.....	15
2.3 Amélioration de la logistique de construction et de la chaîne d'approvisionnement...	17
2.4 Les centres de consolidation	18
2.4.1 Définitions.....	18
2.4.2 Services des centres de consolidation de la construction.....	20
2.4.3 La viabilité financière des centres de consolidation de la construction....	20
2.4.4 Acteurs de la logistique de la construction urbaine	22
2.4.5 Exemples d'études de faisabilité, d'essais et d'opérations de CCC identifiés dans la littérature.....	23
2.5 Modèles de décision dans la chaîne d'approvisionnement de la construction	24
2.6 Limites de recherche et contributions	41
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE ET DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE D'OPTIMISATION.....	45
3.1 Définition de la problématique	45
3.2 Structure de la chaîne d'approvisionnement.....	48
3.2.1 Fournisseurs	48
3.2.2 Centres de consolidation de la construction.....	48
3.2.3 Sites de construction	48
3.3 Hypothèses :.....	48
3.4 Modèle mathématique.....	49
3.4.1 Ensembles et indices	50
3.4.2 Paramètres.....	50
3.4.3 Variables de décision	51
3.4.4 Structure des coûts	52
3.4.5 Fonction objective.....	53
3.4.6 Contraintes	54
3.5 Conclusion	57
CHAPITRE 4 EXPÉRIMENTATIONS ET RÉSULTATS.....	59

4.1	Exemple numérique	59
4.1.1	Approvisionnement.....	60
4.1.2	Transport.....	62
4.1.3	Stockage.....	63
4.1.4	Les sites de construction.....	64
4.2	Expérimentations et résultats	66
4.2.1	Implémentation et logiciel utilisé.....	66
4.2.2	Scénario de base : chaîne d’approvisionnement non synchronisée	67
4.2.3	Scénario où les chaînes d’approvisionnement sont synchronisées.....	68
4.2.4	Comparaison de deux scénarios.....	71
4.2.5	Analyse de sensibilité	76
4.3	Discussions	79
	CONCLUSION	81
	ANNEXE I VALEURS DE VARIABLES DE DÉCISIONS	75
	ANNEXE II ANALYSE DE SENSIBILITÉ	83
	BIBLIOGRAPHIE.....	95

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 2.1	Résumé de la littérature28
Tableau 2.2	Classifications de la littérature selon la structure de chaîne d’approvisionnement.....31
Tableau 2.3	Classifications de la littérature selon les décisions d’optimisation de la chaîne logistique40
Tableau 4.1	Attribution de matériaux aux fournisseurs.....60
Tableau 4.2	Valeurs des paramètres liés aux fournisseurs61
Tableau 4.3	Valeurs des paramètres liés au transport.....62
Tableau 4.4	Valeurs des paramètres liés au stockage.....64
Tableau 4.5	Relations de préséance des activités64
Tableau 4.6	Demandes des activités de chaque site de construction en unité65
Tableau 4.7	Durées des activités des sites de construction.....66
Tableau 4.8	Délais d’échéance des sites de construction66
Tableau 4.9	Capacités de chaque site de construction.....66
Tableau 4.10	Récapitulatif des coûts dans la chaîne d’approvisionnement de scénario de base68
Tableau 4.11	Récapitulatifs des coûts dans la chaîne d’approvisionnement de scénario de base.....69
Tableau 4.12	Répartitions de flux de matière, demande et inventaire agrégé pour les sites de construction 1 et 370
Tableau 4.13	Comparaisons entre les deux scénarios.....72
Tableau 4.14	Plans de demande et d’approvisionnement pour site de construction 1, matériel m273
Tableau 4.15	Plans de demande et d’approvisionnement pour site de construction 3, matériel m274

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1.1	Le problème logistique de la construction urbaine	8
Figure 1.2	Méthodologie de recherche	10
Figure 2.1	Les quatre rôles de la chaîne d'approvisionnement de la construction	12
Figure 2.2	La chaîne d'approvisionnement en construction	14
Figure 2.3	Collaborations dans la chaîne d'approvisionnement de la construction	16
Figure 3.1	Chaîne d'approvisionnement	46
Figure 3.2	Chaîne d'approvisionnement avec les centres de consolidations	47
Figure 4.1	Répartition des coûts dans la chaîne d'approvisionnement de scénario de base	67
Figure 4.2	Répartitions des coûts dans la chaîne d'approvisionnement.....	69
Figure 4.3	Répartitions des livraisons	71
Figure 4.4	Répartitions d'inventaire.....	71
Figure 4.5	Gantt chart -site de construction 1 scénario de base	75
Figure 4.6	Gantt chart – site de construction 3 scénario de base	75
Figure 4.7	Gantt chart – site de construction 1scénario avec collaboration.....	76
Figure 4.8	Gantt chart – site de construction 3 scénario avec collaboration.....	76
Figure 4.9	Impacts du rabais offert par les fournisseurs sur la méthode d'approvisionnement	77
Figure 4.10	Impacts du coût de transport direct sur la mode de livraison	78
Figure 4.11	Impacts du coût du retard sur la méthode d'approvisionnement.....	79

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

BIM	Modélisation des données du bâtiment Building Information Modeling
BID	Quartier d'amélioration des affaires Business Improvement Districts
CCC	Centre de consolidation de la construction Construction Consolidation Center
CII	Institut de l'industrie de construction Construction Industry Institute
CSC	Chaîne d'approvisionnement de la construction Construction Supply Chain
CSCMP	Conseil des professionnels de la gestion de la chaîne d'approvisionnement Council of Supply Chain Management Professionals
CSCM	Gestion de la chaîne d'approvisionnement de la construction Construction Supply Chain Management
E&C	Ingénierie et construction Engineering And Construction
GA	Algorithme génétique Genetic Algorithm
GC	Entrepreneur général General Contractor
GIS	Système d'information géographique Geographical Information System
HGV	Véhicules poids lourds Heavy Goods Vehicles
HSLC	Centre logistique de Hammarby Sjöstad

XVIII

	Hammarby Sjöstad Logistic Center
JÀT	Juste À Temps
IoT	Internet des objets Internet Of Things
TI	Technologies de l'information
MILP	Programmation linéaire mixte en nombres entiers Mixed Integer Linear Programming
LP	Programmation linéaire Linear Programming
LCCC	Centre de consolidation de la construction à Londres London Construction Consolidation Center
PMI	Institut de gestion de projets Project Management Institute
SC	Chaîne d'approvisionnement Supply Chain
SCM	Gestion de la chaîne d'approvisionnement Supply Chain Management
TPL	Logistique externalisée Third Party Logistics
TFL	Transport pour Londres Transport For London
UCC	Centre de consolidation urbaine Urban Consolidation Center
VMI	Inventaire géré par le fournisseur Vendor Managed Inventory

INTRODUCTION

Le rapprochement de la population vers le milieu urbain est une tendance qui ne fait qu'accroître au fil du temps. On prévoit que 68 % de la population mondiale résidera en zones urbaines d'ici à l'an 2050 (United Nations-Department of Economic and Social Affairs, 2018). Dans la province de Québec, la population atteindrait 9 millions d'habitants en 2030, soit 0,6 million de plus que l'an 2019 (Gouvernement du Québec, ministère des Transports, 2019). Alors que 80 % des Canadiens vivent en milieu urbain, 50 % de la population québécoise vivent dans les régions métropolitaines de Montréal (Nazarnia, Schwick et A.G.Jaeger, 2016).

En vue de cette tendance, le nombre de projets de construction augmente afin de répondre au besoin de logement des habitants. En effet, on a compté 111 projets de ce type à Montréal en 2018, dont 39 % étaient des immeubles résidentiels au coût de 30 milliards de dollars en investissements (Ville Montréal, 2018). De plus, l'industrie de la construction représente une partie significative dans l'économie du Canada, soit 23,4 milliards de dollars en 2010 dont une grande partie est consacrée à l'achat de matériaux et aux opérations logistiques (Statistics Canada, 2018).

Le transport de marchandises en milieu urbain est une activité qui émet une quantité relativement importante de CO₂ dans l'atmosphère. Elle contribue aussi aux embouteillages routiers et aux intrusions visuelles (Heeswijk, Larsen et Larsen, 2019). Au Canada, une étude a révélé que 29 % du transport de marchandises sont acheminés par camions commerciaux, contribuant à 27 % du total des émissions de gaz à effet de serre. À titre de comparaison, le transport domestique acheminé par voies maritimes et ferroviaire n'en contribue que 8 % (Transport Canada, 2012). En outre, l'acheminement de marchandises par voie routière porte un coût de congestion élevé. En effet, pour la région métropolitaine de Montréal, le coût de congestion est actuellement évalué à 1,852 millions de dollars (Gouvernement du Québec, Ministère des Transports, 2019).

Le travail de Vrijhoef et Koskela (2000) décrit l'industrie de la construction comme une industrie complexe, souffrant d'une productivité et d'une efficacité médiocres dans les

opérations, avec un large éventail d'acteurs motivés par des motifs différents et compétitifs. Dans ce contexte, le plus grand bien est négligé alors que les avantages à court terme sont plutôt mis en évidence, ce qui entraîne des relations conflictuelles entre les différentes organisations de l'industrie construction.

Au cours des dernières décennies, d'énormes efforts ont été déployés pour détourner les dysfonctionnements de l'industrie de la construction. L'utilisation de technologies avancées telles que BIM (Building information modeling) s'est avérée efficace pour encourager la collaboration entre les parties prenantes. En outre, une attention particulière a été accordée aux UCC (centres de consolidation urbains). Une approche prometteuse suggérant des bénéfices potentiels à long terme en améliorant l'efficacité et l'efficience des processus logistiques tout en minimisant les conflits entre les parties prenantes

Dans ce travail, nous nous concentrons sur l'évaluation de l'impact d'une solution de collaboration logistique du point de vue de l'industrie de la construction. Nous mettons en œuvre une approche quantitative pour optimiser la chaîne d'approvisionnement d'un réseau de projets de construction. De plus, nous étudions l'impact de l'intégration des centres de consolidation de la construction dans la chaîne logistique dans le contexte urbain. Nous étudions différents scénarios afin de réduire le manque de collaboration entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement dans l'industrie de construction en mettant l'accent sur la nécessité de mettre en place un cadre collaboratif de partage des gains.

Le rapport comprend (4) chapitres et il est structuré comme suit. Le premier chapitre présente le problème de la recherche et décrit les principaux objectifs et contributions de la recherche. Le deuxième chapitre présente la revue de la littérature : tout d'abord, nous fournissons un bref aperçu des problèmes auxquels est confrontée la chaîne d'approvisionnement de la construction, le cadre de transformation, les tendances futures dans l'industrie de la construction en mettant l'accent sur les centres de consolidation de la construction. Deuxièmement, nous présentons différentes méthodes de solution proposée dans la littérature et leurs limites. Le troisième chapitre décrit en détail la formulation de notre modèle

mathématique, y compris la présentation des paramètres, variables et hypothèses. Le quatrième chapitre valide le cadre proposé, en affichant les résultats du modèle d'optimisation et l'analyse de sensibilité. Finalement, on présente la conclusion, les limites et les perspectives de recherche.

CHAPITRE 1

PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE

1.1 Définition de la problématique

La construction est un procédé d'une nature complexe, dont la production est temporaire et structurée en projets. Celle-ci se traduit en produits qui requièrent une logistique particulière à être acheminée aux chantiers. Par une demande croissante de bâtiments résidentiels, de logements et d'infrastructures de services, cette complexité tend à s'accroître à mesure que la taille des projets augmente (Agdas, Warne, Osio-Norgaard et Masters, 2018). Les agglomérations urbaines sont sujettes à des flux logistiques importants. En effet, on estime que 20 % à 30 % des véhicules HGV qui entrent dans les villes sont des camions transportant des matériaux de construction (CIVIC Project, 2018 ; Guerlain, Renault et Ferrero, 2019).

La logistique urbaine englobe la distribution et la gestion des marchandises depuis et vers la zone urbaine. Ce type de livraison comprend les biens consommables, la collecte des déchets et la logistique de construction (Boudoin, Morel et Gardat, 2013 ; Cardenas et al., 2017). De plus, la densité de l'environnement urbain rend problématique l'exécution de ces activités. Comme exemple d'un tel recours, pensons à l'acheminement de matériaux aux premières phases de construction, où le transport de quantités massives de terre génère des congestions dans les routes de la ville. Par conséquent, l'encombrement des points d'entrée et de déchargement du site de construction mène à des coûts en logistiques élevés et à un mauvais rendement du chantier (Radziszewska-Zielina et Kania, 2017). Par ailleurs, les projets d'envergure sont soumis à un espace de stockage limité sur le chantier, ce qui met les matériaux de construction à risque de dommages ou de perte. Une telle éventualité réduirait la productivité du chantier et augmenterait le risque pour les travailleurs qui s'y trouvent.

À cause de la fragmentation de l'industrie de la construction et la particularité de son produit, étant donné les différents types de matériaux et de méthodes de construction utilisés, les entreprises de construction opèrent généralement de manière indépendante et leurs projets font

habituellement usage d'une chaîne d'approvisionnement distincte (Scott Wilson Ltd, 2010). Les projets de construction à grande échelle se concrétisent à travers des partenariats entre plusieurs parties prenantes ayant chacun des intérêts différents. Pourtant, leurs collaborations demeurent limitées, leur rendant difficile d'atteindre une durabilité dans les opérations logistiques (Radziszewska-Zielina et Kania, 2017). Néanmoins, la formation de ces partenariats peut réduire la fréquence des retards, les dépassements de budget des projets et éliminer les défauts moyens et majeurs des projets (Meng, 2012). Les opérations logistiques dispersées engendrent généralement des frais excessifs pour les fournisseurs et les entrepreneurs, limitant ainsi les possibilités d'établir une alliance à long terme entre les partenaires. De plus, les livraisons non consolidées de bien de construction aux taux d'occupation des véhicules plus faibles ont un impact négatif immédiat sur l'efficacité de l'infrastructure et des transports, entraînant des trajets plus longs et une plus grande contribuant à la congestion, à la pollution et aux bruits.

L'identification de ce type de problèmes suscite à présent l'attention des chercheurs. Dans leur travail, Assaf et Al-Hejji (2006) de même que Orangi, Palaneeswaeen et Wilson (2011), ont mené un sondage afin d'enquêter sur les éléments pouvant affecter la performance du projet. Parmi ces facteurs sont la pénurie de matériaux, l'inexactitude de la demande de matériaux, la mauvaise planification et la lenteur du processus décisionnel. Colin, Guerlain, Renault, Schwartz et Herbi (2017), ayant étudié l'impact de la ponctualité des camions sur la congestion des routes et des chantiers, les chercheurs ont su l'identifier comme réelle cause de la congestion dans les zones urbaines. Néanmoins, la portée des recherches effectuées à cet égard est souvent limitée.

Dans un domaine commercial aussi concurrentiel que celui de la construction, les entreprises se servent d'importantes mesures afin de réduire leurs coûts d'approvisionnement et de transport, ainsi que d'améliorer leur productivité en chantier. Les principes de la chaîne d'approvisionnement n'étant pas encore au point, une transformation structurelle de cette envergure nécessiterait d'aborder la question de manière plutôt opérationnelle et stratégique, en mettant l'accent sur la collaboration entre les différentes parties prenantes. Il s'agirait en plus

de converger l'attention sur le système de mobilité urbaine en tant que système intégré, face aux défis économiques et sociétaux, et insister sur la nécessité de partager les coûts et la répartition des gains entre les collaborateurs.

Les écrits actuels quant aux projets de gestion des chaînes d'approvisionnement sont divisés en (4) principaux volets de recherche. D'une première part, la recherche conceptuelle vise à définir la chaîne d'approvisionnement d'un projet en utilisant les études de cas. Pour une seconde part, la gestion des activités correspond à un intérêt de recherche qui comprend les modèles d'optimisation de la gestion de logistique. En troisième, on définit la recherche sur la gestion des relations avec les parties prenantes. Enfin, le quatrième intérêt de recherche porte sur la gestion de l'information sur les mécanismes de coordination et d'incitatifs. Ce dernier volet implique la mise en place des technologies de l'information et l'étude des flux d'informations entre les membres de la chaîne d'approvisionnement (Lian et Ke, 2018).

Dans cette recherche, nous nous pencherons sur le problème de la gestion de logistique de chaîne d'approvisionnement au sein d'un projet de construction urbain. Ainsi, nous nous concentrerons sur l'efficacité du transport des matériaux et de la coordination de multiples parties prenantes. Nous viserons à développer des solutions saines qui incarneront la notion de collaboration entre les fournisseurs et les entrepreneurs principaux en établissant des occasions d'affaires. En nous éloignant des décisions d'achat indépendantes, nous mettrons le point sur la coordination du flux logistique des projets simultanés afin d'optimiser la chaîne d'approvisionnement globale de la construction en respectant les exigences des parties concernées.

1.2 Objectifs de recherche

Dans le but de résoudre le problème de recherche tel qu'il est représenté sur la figure 1.1, nous ferons l'usage d'une approche quantitative pour étudier l'impact des achats coordonnés en chaîne d'approvisionnement par rapport à l'achat par méthode traditionnelle. Nous proposons de repenser la chaîne d'approvisionnement en y ajoutant un point focal : un centre de consolidation. Les centres de logistiques sont un sujet de recherche fort populaire au sein

d'autres industries, telles la manufacture et la vente au détail. C'est un concept qui s'est avéré efficace pour optimiser les livraisons au dernier kilomètre. Les solutions logistiques telles que TPL et les centres de consolidation restent une nouvelle approche dans l'industrie de la construction. Par conséquent, nous nous concentrons sur le rôle que prendrait le centre de consolidation pour synchroniser les opérations du chantier de construction vis-à-vis des tâches principales d'une chaîne d'approvisionnement.

Notre principal objectif est d'optimiser la chaîne d'approvisionnement en construction urbaine en établissant un schéma de collaboration. Afin d'atteindre cet objectif, il faut élaborer un modèle de prise de décision qui présente les particularités du projet de construction urbaine :

- Stockage limité en chantier ;
- Multiples projets récurrents ;
- Variété de types de matériaux.

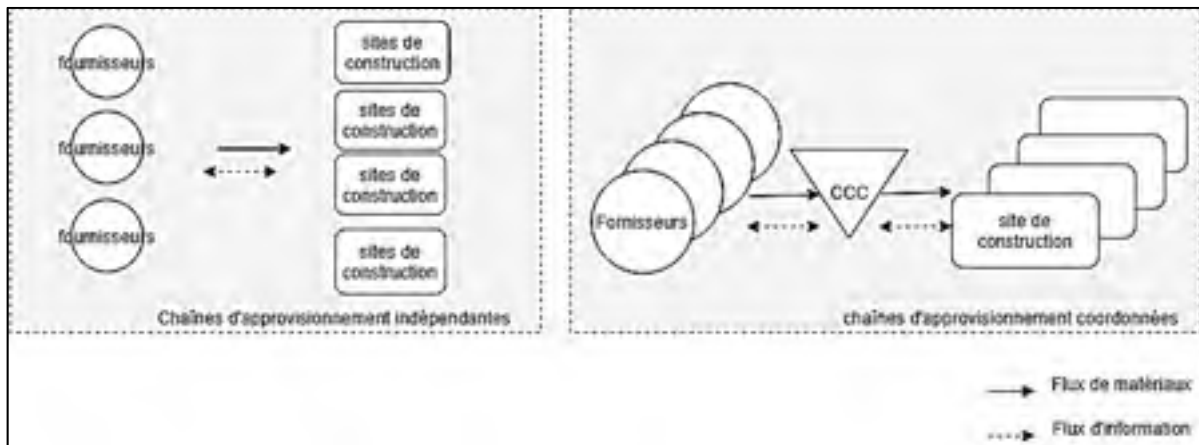


Figure 1.1 Le problème logistique de la construction urbaine

En outre, nous bâtissons notre modèle et misons son succès sur des principes de collaboration entre les parties prenantes, afin de répondre aux aspirations de celles-ci. Ensuite, nous examinons l'importance de notre série d'hypothèses sur le succès du cadre proposé.

La rubrique qui suit met en évidence la méthodologie de recherche choisie.

1.3 La méthodologie de recherche

Pour accomplir les objectifs de recherche de cette étude, le processus suivant a été adopté :

- Une analyse de la littérature pour déterminer le problème et le caractériser. Nous étudions les problèmes rencontrés dans une chaîne d'approvisionnement en construction, les contraintes et les obstacles, (2) sujets sont abordés :
 1. Nous analysons brièvement les solutions et les tendances futures qui sont proposées en littérature et mises en pratique. Cela nous permettra d'identifier la solution adéquate pour résoudre le problème de cette recherche ;
 2. Nous étudions les modèles de décision proposés dans la littérature.
- Le développement de modèle mathématique MILP : une méthode de solution basée sur une offre de valeur et un modèle de prise de décision multi ressources, multi fournisseurs, multi périodes qui tient compte des caractéristiques spécifiques du problème ;
- Test et évaluation des résultats : Nous vérifions le modèle à l'aide d'une source secondaire de données recueillies dans la littérature et de sources de données relatives. Nous analysons les résultats en comparant l'effet de la solution logistique proposée sur la chaîne d'approvisionnement. Enfin, nous validons l'hypothèse en ayant recourt à une analyse de sensibilité.

La figure 1.2 illustre la méthodologie de recherche suivie.

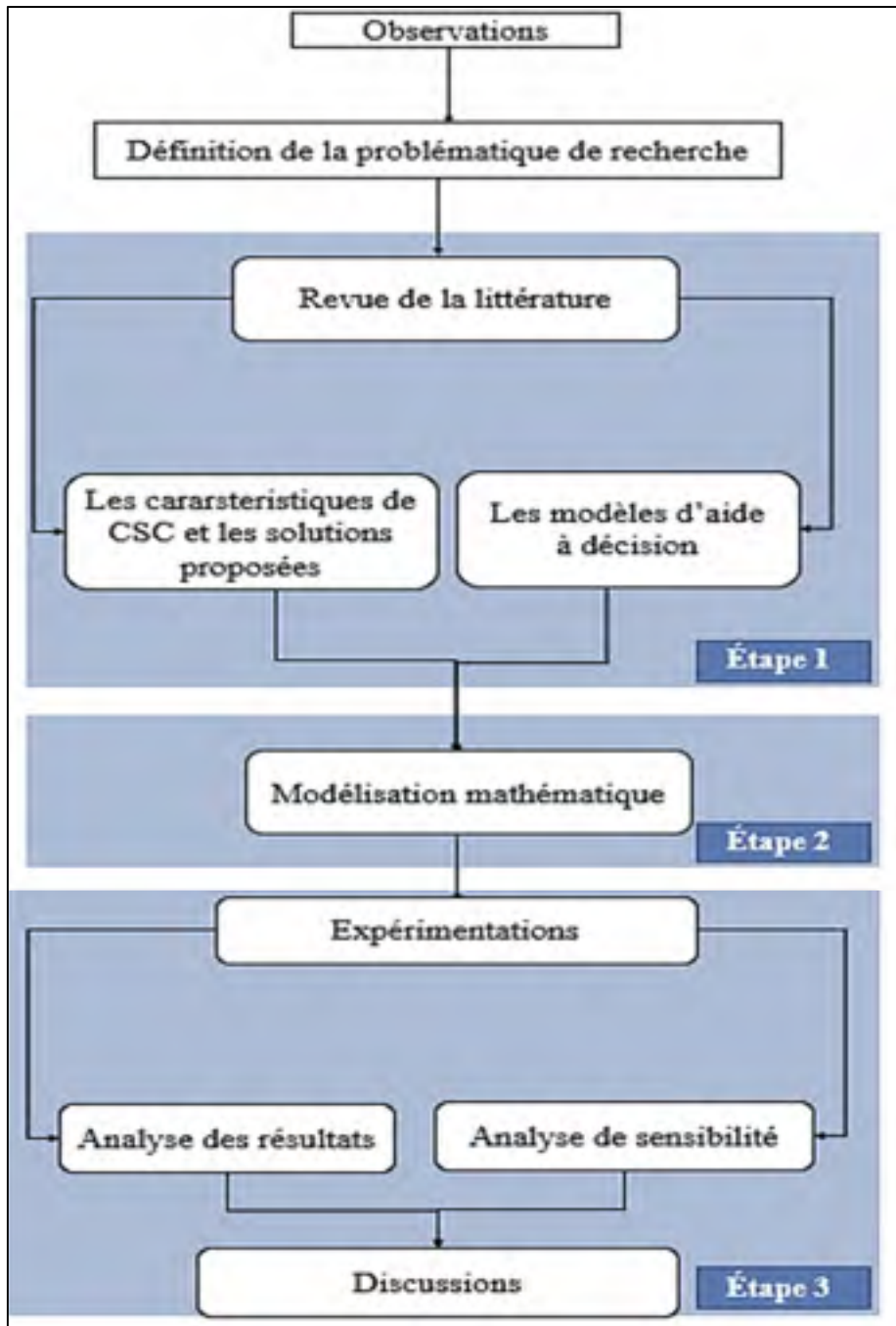


Figure 1.2 Méthodologie de recherche

CHAPITRE 2

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Ce chapitre présente une analyse de la littérature relative à la chaîne d'approvisionnement en construction : 1) ses caractéristiques, 2) ses inconvénients et ses lacunes, ainsi que 3) certaines solutions et modèles décisionnels proposés afin d'améliorer l'efficacité de la SC dans le secteur de la construction. Tout d'abord, nous proposons un survol de la chaîne d'approvisionnement et de la logistique de la construction. À cette fin, nous nous devons d'étudier les particularités de cette industrie et les relations entre ses multiples acteurs. Nous nous concentrons ensuite sur les centres de consolidations et leurs principaux attributs : 1) leur application, 2) les services qu'ils offrent et 3) les principaux facteurs de leur succès. Ensuite, nous établissons une synthèse des principaux modèles observés. Cette analyse de la littérature ne se veut pas exhaustive, mais vise tout de même à aborder certains aspects de la modélisation mathématique réalisée dans le chapitre 3. Enfin, nous terminons cette analyse de la littérature par une brève conclusion.

2.1 Définition de la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de la construction et problèmes afférents

Le SCM est un concept qui a pris naissance et a prospéré dans l'industrie manufacturière (Subramani et Tamizhanban 2016). Il a été développé dans les années 1980 pour gérer les relations entre les membres de la chaîne d'approvisionnement et réduire l'impact de la mondialisation (Thunberg et Persson 2013). CSCMP (2020) définit la gestion de la chaîne d'approvisionnement comme celle qui "englobe la planification et la gestion de toutes les activités impliquées dans l'approvisionnement et l'achat, la conversion, et toutes les activités de gestion de la logistique. Elle comprend aussi la coordination et la collaboration entre les partenaires de la chaîne".

Dans le contexte de l'industrie de la construction, Hatmoko et Scott (2010) ont défini le CSCM comme " un système où les fournisseurs, les entrepreneurs, les clients et leurs agents travaillent ensemble en coordination. Cela a pour but d'installer et utiliser des informations fournis pour

produire, livrer des matériaux, des installations des travaux temporaires, des équipements et de la main-d'œuvre et/ou d'autres ressources nécessaires pour l'exécution fructueuse de projet de construction ". De même, Vrijhoef et Koskela (2000) ont décrit le CSC par quatre rôles qui doivent être remplis afin d'achever la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de la construction, tel qu'ils sont présentés dans la figure 2.1.

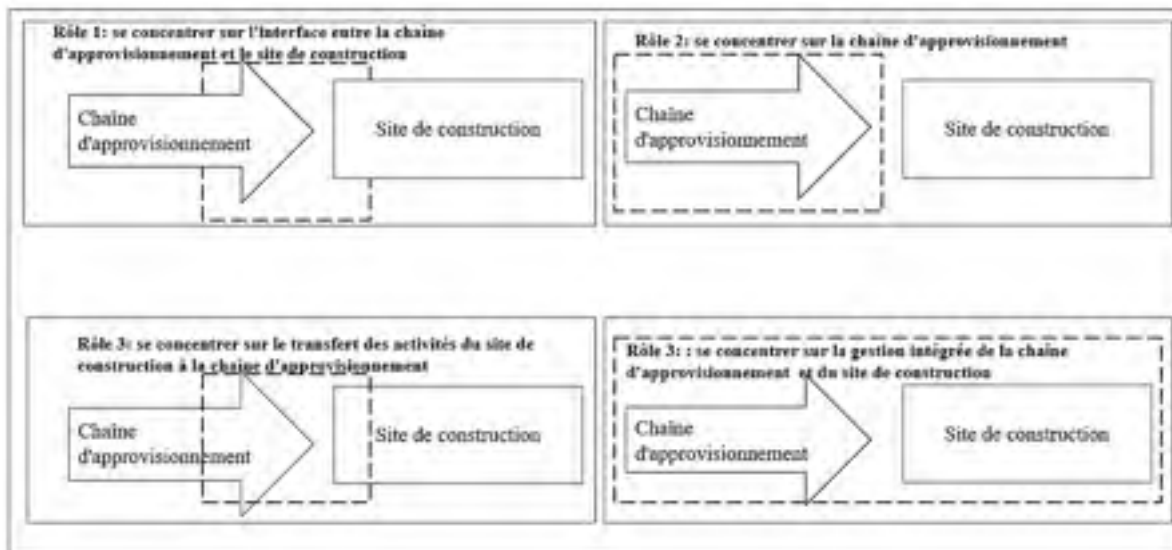


Figure 2.1 Les quatre rôles de la chaîne d'approvisionnement de la construction
Adaptée de Vrijhoef et Koskela (2000)

Les projets de construction font appel à différentes compétences à différents niveaux de la construction. Cela nécessite l'échange d'informations, de liquidités et de matériaux dans un cadre du processus multi organisationnel comme l'illustre la figure 2.2. Les défis qui se posent dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement dans l'industrie de la construction sont souvent en raison de problèmes d'inefficacité d'échange d'information et de mauvaise communication présente à travers les différentes phases de construction et entre les intervenants dans la construction, tels le propriétaire, l'entrepreneur principal, les architectes, les consultants, les sous-traitants et les fournisseurs (Hatmoko, Mohanty et Prakash, 2015 ; Segerstedt et Olofsson, 2010). Les partenaires sont généralement gouvernés par des relations contractuelles à court terme auxquelles un ensemble de responsabilités sont déléguées. Ils priorisent leurs propres gains et ne parviennent pas à assurer l'efficacité globale de la chaîne

d'approvisionnement, puisqu'ils négligent ainsi tant le partage des risques et des gains que le transfert des connaissances (Tan, Xue et Cheung, 2017). Pour cette raison, l'industrie de la construction est souvent décrite comme l'une des plus fragmentées.

La nature complexe de l'industrie de la construction axée sur les projets rend difficile l'échange d'informations entre les intervenants en temps utile et de manière organisée (Beheraa et al., 2015). La chaîne d'approvisionnement de la construction est pauvre en productivité en raison de la fragmentation, d'une culture d'opposition et d'un manque d'intégration et de collaboration entre les acteurs (CII, 1991 ; Bresnen et Marshall, 2000). Larsson et Larsson (2020) ont affirmé que la complexité des relations et les conflits entre les partenaires rendent difficiles la formulation d'un partenariat et l'alignement des entreprises de construction. La nature provisoire de ces projets fait que les acteurs se focalisent sur les gains à court terme et refusent d'établir des liens commerciaux à long terme. L'une des principales caractéristiques du secteur de la construction est qu'il nécessite une importante sous-traitance (Fernie et Tennant, 2013). Les sous-traitants sont chargés de fournir les plans, la main-d'œuvre et les matériaux et de convertir les spécifications liées aux commandes en composants physiques qui seront intégrés dans les projets de construction (PMI, 2000).

Selon Packham, Thomes et Miller (2003), le partenariat entre les sous-traitants et les entrepreneurs principaux est présumé être difficile, en particulier lorsque ces derniers n'obtiennent pas suffisamment de gains par rapport à ceux obtenus par l'entrepreneur principal. En outre, Tam, Shen et Kong (2011) argumentent que les pratiques de passation de marchés du secteur de la construction, telles que les enchères des prix, peuvent accroître la fragmentation et réduire les performances de la chaîne d'approvisionnement. L'entrepreneur général ou le sous-traitant gère simultanément plusieurs projets, ce qui l'incite à se concentrer sur les bénéfices immédiats pour son entreprise plutôt que sur l'amélioration des performances du système (Luong, Elmughrabi, Dao et Chaabane, 2018).

De même, les relations entre les propriétaires et les entrepreneurs sont dites dysfonctionnelles, le renforcement des liens de confiance entre les deux parties étant sans doute difficile dans une

chaîne d'approvisionnement par projet. En outre, la sélection des principaux fournisseurs peut conduire à l'adoption de partenariats et de relations à long terme susceptibles de faciliter la mise en œuvre des pratiques de SCM (O'Brien, Formoso, Vrijhoef et London, 2009). Cependant, l'implication du fournisseur dans les premières étapes du cycle de vie du projet de construction est limitée, ce qui s'oppose à la productivité de la chaîne d'approvisionnement. Par conséquent, la relation entre l'entrepreneur principal, le sous-traitant et le fournisseur est souvent tendue et conflictuelle (R.J.Dainty, Briscoe et J.Millett, 2001).

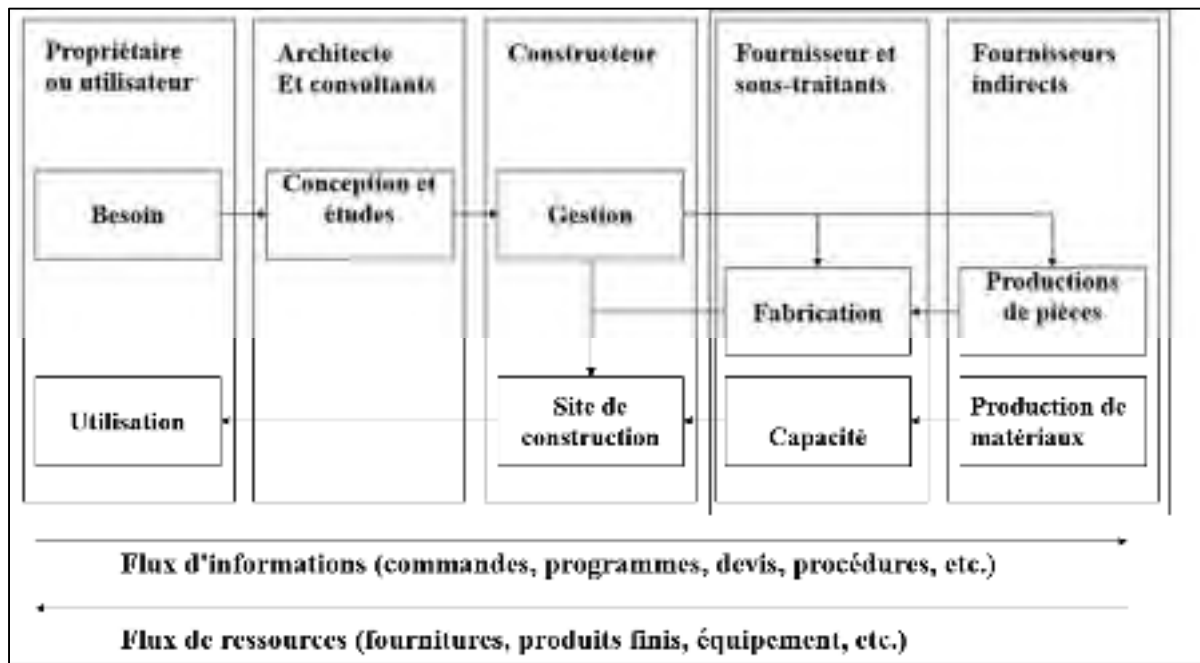


Figure 2.2 La chaîne d'approvisionnement en construction
Adaptée de Serpell et Rojas (2004)

Les technologies de l'information sont des outils essentiels permettant d'améliorer le rendement d'une entreprise. Pourtant, des études ont conclu que l'application des TI dans l'industrie de la construction ne s'avère toujours pas répandue dans sa chaîne de valeur ni à travers le cycle de vie de ses projets. Hadaya (2010) a constaté que les experts en technologie ne jouent ni le rôle de leaders d'opinion ni celui d'agents de changement quant à l'adoption des TI. Les entreprises de construction sont plus susceptibles d'utiliser des processus transactionnels basés sur le Web dans un cadre de collaboration interentreprises, à condition que celui-ci leur garantisse un avantage concurrentiel, ce qui rend le partage d'informations plus difficile.

2.2 Définition et problèmes de la logistique de la construction

La gestion de la logistique joue un rôle primordial dans les projets de construction. Celle-ci peut être définie comme la gestion du processus d'approvisionnement des matériaux et des ressources nécessaires sur un chantier. Il ne s'agit pas uniquement de gérer le flux de matériaux et d'informations, mais aussi de promouvoir la qualité, d'assurer la sécurité et d'encourager un environnement qui facilite les activités de construction (Guffond et Leconte, 2010). La logistique de construction comprend des activités telles que l'approvisionnement en matériaux et équipements, le transport des matériaux de construction aux points de demande, la manutention des matériaux au site de construction, la gestion des stocks et d'autres opérations logistiques.

À bien des égards, l'industrie de la construction est en retard en ce qui concerne la gestion de la logistique, notamment lorsqu'on la compare à l'industrie manufacturière. Les projets de construction en pâtissent une faible coordination, une pauvre standardisation dans l'exécution des processus internes et l'intégration des opérations (Vrijhoef et Koskela, 2000). Il en résulte des surcoûts et des dépassements de délais qui pourrait entraîner un désordre dans les processus sur le site de construction et des coûts de production excessifs. Une étude réalisée par Enshassi, Kumaraswamy et Al-Najjar (2010) a conclu que 89,80 % des retards des projets analysés sont dus à une mauvaise logistique des matériaux de construction. Lith, Voordijk, Matos_Castano et Vos (2015) estiment que les principaux facteurs affectant le délai et le coût des projets de construction sont les changements de design, et l'incertitude sur le prix des matériaux de construction. De plus, une enquête réalisée par Kaming, Olomolaiye, Holt et Harris (1997) a conclu que la planification inadéquate et le déficit de ressources sont parmi les raisons les plus fréquentes des retards des projets. Haslinda, Xian, Norfarahayu, Hanafi et Fikri (2017); Frimpong, Oluwoye et Crawford (2003) ; Wanjari et Dobariya (2016) et Beheraa et al., (2015) considèrent qu'une mauvaise planification des coûts de matériaux et un approvisionnement inadéquat forment tous deux le principal facteur des dérapages de coûts.

La performance de la construction repose sur un ensemble de décisions interconnectées. Le contractant général joue un rôle essentiel dans la facilitation des relations au sein de la chaîne d'approvisionnement (Dainty et al., 2010). Dans les projets de construction, les entrepreneurs généraux prennent en charge la coordination des opérations liées aux opérations logistiques de construction et agissent à titre de coordinateurs des activités sur le chantier et hors chantier entre les différents acteurs de la CSC comme la montre la figure 2.3. Enshassi et al., (2010) considèrent que les entrepreneurs peuvent ralentir le processus de prise de décision, entraînant ainsi une réponse tardive aux instructions, en particulier lorsque des changements dans la conception s'avèrent fréquents et nécessaires pour s'adapter aux besoins du client. Ce retard entraîne à son tour des coûts supplémentaires, du fait que les sous-traitants intermédiaires facturent des redevances et des frais additionnels à travers des réclamations et disputes (Tam et al., 2011).



Figure 2.3 Collaborations dans la chaîne d'approvisionnement de la construction
Adaptée de Hu (2008)

La gestion des stocks est un élément fondamental de la logistique de la construction. En raison de l'incertitude dans la formule de l'offre et de la demande dans les projets de construction, un écart entre l'offre et la demande est fréquent dans les projets de construction. Une gestion inefficace des stocks peut entraîner des pénuries de matériaux, des retards dans

l'approvisionnement en matériaux, des livraisons non programmées, des dégâts matériels, du gaspillage et des sur-stockages (Lu, Wanga, Xie et Wang, 2018 ; Kasim et Zainal, 2012 Josephson et Chao, 2014 ; Ekeskar et Rudberg, 2016). Les matériaux achetés représentent une grande partie des coûts logistiques. Cependant, le secteur de la construction néglige l'importance de la gestion des relations avec les fournisseurs pour parvenir à des économies d'échelle (Lehtonen et Pahkala, 1998 ; Liu, Su et Zhang, 2018). Une gestion et une sélection adéquates des fournisseurs sont essentielles pour réduire les coûts logistiques (Lith, et al., 2015).

2.3 Amélioration de la logistique de construction et de la chaîne d'approvisionnement

L'industrie de construction est un milieu conservateur réticent aux changements. Un effort est nécessaire en vue d'améliorer le processus décisionnel par le biais d'une estimation précise des matériaux, de l'élimination des déchets, de la réduction des stocks en attente et, à terme, de la réduction du capital investi (Fei et Shileii, 2010). Luong, Chaabane et Dao (2019) affirment que l'industrie de la construction s'est concentrée sur l'intégration interne en améliorant des opérations telles que la gestion des ressources sans réussir à appliquer l'intégration externe nécessitant la collaboration entre les différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement.

De vastes efforts de recherche ont proposé l'utilisation de solutions clés, dont certaines semblent particulièrement prometteuses, notamment la modélisation des données d'un bâtiment BIM. D'autres se sont penchés sur des solutions logistiques, telles que les centres de consolidation de la construction ou les TPL (Ekeskär et Rudberg, 2016 ; Luong, Jarroudi, Dao et Chaabane, 2020), afin d'optimiser la livraison des matériaux de construction et de garantir la collaboration et l'intégration entre les acteurs des CCC, tout en offrant des avantages environnementaux, sociétaux et économiques. L'intégration est un sujet très abordé dans la littérature pour les bénéfices prometteurs qu'elle apporte en matière de création de valeur ajoutée pour les membres de la chaîne d'approvisionnement. Dans leur recherche Awad et Nassar (2010), ils définissent l'intégration comme une procédure qui consiste à reconcevoir un système pour unifier les différentes composantes et ainsi générer un nouveau système. Néanmoins, la définition exacte de l'intégration de la chaîne d'approvisionnement demeure

ambigüe (Barratt, 2013). Huo (2012) affirme que la collaboration entre les acteurs en amont et en aval de la chaîne d'approvisionnement, d'une manière managériale et opérationnelle, est nécessaire pour réaliser des opérations logistiques réussies basées sur un partage efficace de l'information. Tout en assurant une forte satisfaction des clients à faibles coûts pour ses acteurs, Zhendong et Zhenmin (2010) ont développé un cadre conceptuel d'intégration de la chaîne d'approvisionnement. Ces chercheurs définissent (3) principaux moteurs pour l'intégration de la chaîne d'approvisionnement de la construction: (1) l'intégration opérationnelle, (2) le mécanisme de coordination et (3) le soutien informatique. Ces éléments sont décrits comme des piliers dans la réalisation de l'intégration. Dans le même contexte, Koolwijk, Oel, Wamelink et Vrijhoef (2018) identifient (4) éléments pour établir la collaboration et l'intégration dans la chaîne d'approvisionnement de la construction : (1) la collaboration, (2) la prise de décision inclusive, (3) l'intégration financière, et (4) le partage d'informations. Rahman, Endut, Faisol et Paydar (2013) présentent la formation d'alliances et de partenariats comme étant un facteur clé pour parvenir à l'intégration de la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de la construction. Gupta et Maranas (2003) considèrent que la planification de la chaîne d'approvisionnement est concernée par la coordination et l'intégration des principales activités économiques d'une entreprise, de l'approvisionnement en matières premières à la distribution des produits finis au client.

2.4 Les centres de consolidation

2.4.1 Définitions

Les centres de consolidation urbains sont un sujet de recherche populaire qui date de 1970 (Allen, Browne, Woodburn et Leonardi, 2012). Leur objectif principal est de réduire le cycle de transport en améliorant l'efficacité des livraisons de marchandises dans les délais. Browne, Allen et Leonardi (2011) ont défini le centre de logistique urbain comme " une installation logistique située à proximité de la zone urbaine qu'elle dessert, qu'il s'agisse d'un centre-ville, d'une ville entière ou d'un site spécifique tel qu'un centre commercial, un aéroport, un hôpital ou un grand chantier de construction". Une autre définition par Allen et al., (2012) est telle une " initiative de transport de marchandises visant à réduire le trafic de véhicules de marchandises,

les émissions de gaz à effet de serre liées aux véhicules et la pollution atmosphérique locale ". Paddeu (2017) a déconstruit la notion du centre de consolidation urbain en (3) catégories distinctes du point de vue des récepteurs. La première catégorie représente les centres de consolidation qui desservent la zone urbaine autant en totalité qu'en partie, distribuant ainsi une large gamme de biens allant des articles de bureau aux biens de détail. La seconde se définit par les centres de consolidation urbains desservant un point final tel que les hôpitaux et les centres commerciaux. La troisième se dit des centres desservant les grands projets de construction.

Indépendamment de leur efficacité avérée dans d'autres industries, l'utilisation des centres de consolidation dans le domaine de la construction est encore restreinte. Les matériaux de construction arrivent en masse sur le chantier, avec des quantités différentes provenant de fournisseurs divers de manière non coordonnée. Cela entraîne le stockage de vastes quantités sur le chantier (Lundesjo, 2015). La consolidation et la coordination des livraisons ont un grand potentiel pour réduire l'impact de ces problèmes. Dans le contexte de l'industrie de la construction, Harker, Allcorn et Taylor (2007) décrivent les centres de consolidation comme :

« Des centres de distribution servant à fournir des matériaux dans les quantités requises à un ou plusieurs projets de construction, une solution efficace de gestion de la chaîne d'approvisionnement permettant le flux sûr et efficace des matériaux et équipements de construction du fournisseur au projet, [...], entraînant une réduction substantielle du nombre total de véhicules livrant dans un environnement congestionné. »

Sullivan, Barthorpe et Robbins (2010) ont classé les CCC en (3) catégories. Tout d'abord, le centre de consolidation de construction dissimulé, faisant référence aux centres de consolidation situés proches des chantiers. Le second type s'agit de centres de consolidation communaux, servant plusieurs projets pour un seul entrepreneur. Les auteurs décrivent cette catégorie de CCC comme la solution logistique la mieux adaptée aux projets exécutés simultanément en zones urbaines. Le troisième type de CCC est dit collaboratif, soit partagé par différents entrepreneurs. La gestion des opérations logistiques des différents sites de construction est généralement sous-traitée à une tierce partie.

2.4.2 Services des centres de consolidation de la construction

Les avantages des centres de consolidation ont été soulevés dans plusieurs types d'études. La consolidation des matériaux dans une industrie multi acteurs fortement fragmentés ne peut que renforcer l'attrait des centres de consolidation en tant que solution logistique. Quant à l'industrie de la construction, ces centres peuvent prendre en charge de multiples fonctions logistiques, et ce, à l'intérieur comme à l'extérieur des chantiers (Guerlain et al., 2019). Ces fonctions logistiques incluent le stockage et le transport, les distributions JÀT, l'assemblage de composants de construction, le suivi des colis et les services informatiques avancés (Hamzeh, Tommelein, Ballard et Kaminsky, 2007). De même, Campbell, MacPhail et Cornelis (2010) ont énuméré le transbordement, le stockage et le réapprovisionnement comme étant les principales opérations supervisées par les centres de consolidation. Tandis que Dell'Amico et Novellani (2017) et Transport for London (2008) ont inclus la gestion des déchets, le recyclage et le retour des matériaux aux tâches réalisées par les CCC. En outre, WRAP (2011) a fait rapport sur des pratiques ingénieuses au CCC par des entrepreneurs spécialisés tels que l'utilisation de CCC comme station de traitement hors site pour l'exécution de coupes de plaques de plâtre et l'installation hors site d'équipements de construction.

2.4.3 La viabilité financière des centres de consolidation de la construction

Hamzeh et al. (2007) suggèrent que les centres logistiques dans l'industrie de la construction se divisent en (2) catégories : la première représente les centres logistiques en tant que point focal qui permet le transport des marchandises, la seconde en tant qu'installation qui génère des affaires pour les parties prenantes mises en œuvre. La viabilité financière est un facteur clé lorsqu'on envisage des initiatives logistiques de grande envergure. En outre, Duina, Dam, Wiegmans et Tavasszy (2016) et Bryson (2007) affirment que le succès des centres de consolidation urbains dépend fortement de leur capacité à créer et à capturer de la valeur et des gains pour les acteurs de la chaîne d'approvisionnement. Les auteurs ajoutent que la collaboration entre ces acteurs est fondamentale afin de parvenir à des solutions logistiques durables.

Dans le projet SUCCESS (Sustainable Urban Consolidation Centres for construction) Navarro-Correcher et Carles Pérez-Cervera (2018) ont utilisé la méthodologie CANVAS pour distinguer deux modèles commerciaux pour le centre de consolidation de la construction en fonction de l'opérateur principal. Dans le premier, le CCC est exploité par l'entreprise de construction. Dans ce modèle l'opérateur génère de la valeur en réalisant des économies et en ayant le contrôle sur les canaux d'approvisionnement. Dans le second modèle, les opérations du CCC sont sous-traitées à une tierce partie et le CCC saisit de la valeur en réalisant un profit pour les services qu'il offre.

Les CCC exigent la présence d'un large éventail de participants ayant des besoins et des attentes différents (Hezarkhani, Slikker et Woensel, 2019). Dans un environnement multi acteurs, les intérêts ont tendance à être conflictuels. Il devient alors critique de disposer de modèles commerciaux fiables pour démontrer les avantages d'un programme de collaboration avec des investissements élevés. Les centres de consolidation de la construction ont le potentiel de fournir des propositions de valeur durables qui se traduisent par des relations multi bénéfiques entre les parties prenantes concernées. Duina et al. (2016) ont indiqué qu'un modèle commercial acheteur-fournisseur favorise la création de valeur et l'échange de services. Golpîra (2020) a souligné que l'utilisation de la CCC est avantageuse pour les fournisseurs lorsqu'ils fournissent en taille de lot économique. Cela leur permet d'obtenir un signal de demande régulière et donc de réduire les écarts entre l'offre et la demande et par la suite cela leur permet de mieux prévoir leurs prévisions de production. En ajoutant à cela, les fournisseurs peuvent réaliser des gains économiques en réduisant les frais généraux liés au prétraitement des commandes et en même temps cela leur permet d'optimiser les coûts de stockage. Ce système est également avantageux pour les contractants. En effet, il permet au principal contractant de bénéficier de prix réduits pour les grandes quantités acquises et d'améliorer sa position concurrentielle. En outre, les entrepreneurs commerciaux peuvent bénéficier d'une réduction des déchets de matériaux et des commandes excessives et donc réaliser des économies (WRAP, 2011).

Les autorités locales peuvent jouer un rôle essentiel dans un succès durable du centre de consolidation. Anderson, Allen et Browne (2005) ont présenté quatre politiques différentes en analysant leur impact financier potentiel sur la logistique urbaine. Ces politiques sont les péages urbains, les zones à faibles émissions, les restrictions de poids et les restrictions de temps. De même, Brettmo et Browne (2019) affirment que les BID peuvent promouvoir des initiatives urbaines.

2.4.4 Acteurs de la logistique de la construction urbaine

PMI (2006) définit les parties prenantes comme étant "les personnes et les organisations qui participent activement au projet ou dont les intérêts peuvent être affectés positivement ou négativement en raison de l'exécution ou de la réussite du projet". Plus précisément, les parties prenantes d'un projet de construction sont définies comme "des groupes ou des individus ayant un intérêt dans le rendement du projet, notamment les clients, les chefs de projet, les concepteurs, les sous-traitants, les fournisseurs, les organismes de financement, les utilisateurs et la communauté au sens large." (Newcombe, 2003).

Dans le contexte de la logistique urbaine, les parties prenantes peuvent être divisées en deux groupes principaux allant du secteur privé au secteur public (CIVITAS, 2020). Les acteurs impliqués dans le processus de décision du projet de construction sont des parties prenantes directes. Dans cette catégorie, nous identifions les entrepreneurs et les fournisseurs et les clients. Les entrepreneurs principaux sont généralement désignés par les clients pour agir en tant que coordinateurs des activités de construction. Ils sont responsables de la supervision de l'exécution efficace des projets de construction. Les sous-traitants, généralement engagés par l'entrepreneur principal ou le client pour effectuer une tâche spécifique dans le cadre des travaux de construction, ils sont responsables de la gestion des matériaux de construction (Harker et al., 2007). Parmi les acteurs directs de la logistique de la construction urbaine, nous pouvons également identifier les fournisseurs, c'est-à-dire les fabricants ou les fournisseurs de matériaux de construction, les grossistes et les marchands de matériaux de construction. Newcombe (2003), Olander et Landin (2005) et Karlsen (2020) expliquent que les clients ne constituent pas une entité unique et que, par conséquent, de nombreuses parties prenantes de

la chaîne d'approvisionnement peuvent être identifiées comme des clients. La deuxième catégorie est celle des parties prenantes indirectes, c'est-à-dire les entités qui sont touchées par le processus décisionnel, mais qui ne sont pas directement impliquées, par exemple les résidents et les utilisateurs des infrastructures. Les autorités peuvent appartenir à l'un de ces groupes selon le type de projet (CIVIC Project, 2018).

2.4.5 Exemples d'études de faisabilité, d'essais et d'opérations de CCC identifiés dans la littérature

Le concept de centre de consolidation représente un potentiel encore inexploité dans le secteur de la construction, avec un essai limité en conditions réelles. Le centre logistique d'Hammarby Sjostad (HSLC) a été créé dans le cadre d'un partenariat public-privé dans le cadre du projet européen CIVITAS, dans un des plus grands projets de développement à Stockholm (Otto, 2005), dont l'objectif principal était de limiter l'impact négatif des activités de construction sur la région environnante. Le centre logistique occupait 3 500 m². La contribution de la ville de Stockholm ayant représenté 95 % du budget du CCC lors de sa création en 2001, elle a été réduite à 40 % lorsque les entrepreneurs ont reconnu son potentiel d'économie. À l'origine, le centre logistique avait reçu 400 livraisons dispersées. Cependant, au cours de son service, le CCC a permis de réduire ce nombre de 80 %. De plus, le CCC a soutenu les opérations logistiques de 8 000 appartements situés à proximité d'une zone environnementale (Ekerlund et Stuhmann, 2003).

Un autre projet pilote renommé est le centre de consolidation de la construction de Londres (LCCC), qui a fonctionné de 2005 à 2007 dans le sud de Londres, au South Bermondsey. Un emplacement à court terme a été choisi en raison de sa proximité en distance des points de demande, mais en dehors de la zone d'encombrement, occupant une superficie de 5 000 m². L'initiative a impliqué (4) partenaires : TFL, Wilson James Ltd, Bovis - une entreprise de construction de maisons et Stanhope Plc, ce dernier étant un acteur majeur. Le CCC a desservi des sites de construction de quatre bureaux occupant une surface allant de 13 000 m² à 300 m², soit Unilever House, Coleman Street, Basinghall Street et Bow Bells House. Il a aussi reçu des matériaux de 341 fournisseurs dont la majorité provenait de l'extérieur du Grand Londres. Une

fois le LCCC en service, les matériaux ont été livrés sur une base JÀT, ce qui a permis de réduire jusqu'à 70 % des trajets via le CCC, d'atteindre une fiabilité de livraison de 97 % et une économie de 21 104 £ en matière de coûts de congestion (WRAP, 2011). Cependant, l'un des revers observés dans ce projet était le manque de formation du personnel des centres de consolidation. Il a également été soulevé que les principaux entrepreneurs se sentent mal à l'aise de renoncer au contrôle de leurs projets lorsque le gouvernement finançait principalement en utilisant les centres de consolidation (Transport for London, 2008 ; Transport for London, 2016).

Dans le cadre du projet Horizon 2020 de l'Union européenne, le projet SUCCESS aide au déploiement de centres de consolidation afin d'améliorer les pratiques de la chaîne d'approvisionnement de quatre futurs projets allant de moyens à grands chantiers de construction. Cette étude a réuni onze partenaires des secteurs public et privé. Ces projets sont en Europe, dont le premier est au Luxembourg et consiste de (4) bâtiments ; soit (2) bâtiments de bureaux, (1) bâtiment résidentiel et (1) bâtiment commercial. Le second site est établi à Paris et comprend (2) immeubles de bureaux et le réaménagement d'un complexe composé de (2) bâtiments contigus. Le troisième projet se situe à Valence et dont les activités comprennent la rénovation de quatre bâtiments. Le projet final consistait en la construction de deux bâtiments hospitaliers situés à Vérone, en Italie. Les principaux accomplissements de l'essai étaient d'avoir réussi à réduire le pourcentage de livraisons à 60 %, améliorant ainsi le facteur de charge à 66 %.

2.5 Modèles de décision dans la chaîne d'approvisionnement de la construction

Dans d'autres industries, l'intégration de la chaîne d'approvisionnement a su amener des bénéfices permettant d'améliorer le processus de prise de décision dans la planification de la production et les achats (Akintoye, McIntosh et Fitzgerald, 2000). Dans le secteur de la construction, la mise en place d'une chaîne d'approvisionnement intégrée est décrite tel un défi, d'autant plus que les entreprises de construction choisissent souvent de fonctionner de manière indépendante. Une façon de mettre en œuvre l'intégration est de gérer de manière conjointe le flux, le stockage et la distribution des matériaux (Stevens G., 1989 ; Stevens G., 2016). Cela

peut être très apprécié dans le secteur de la construction où les matériaux de construction sont consommés en grande quantité. Une solution consciente et économique telle que l'intégration de la chaîne d'approvisionnement peut être très valorisée et peut déclencher un changement de culture chez les entrepreneurs, les transporteurs, les fournisseurs et les sous-traitants.

Tserng, Yin et Li (2006) ont développé une solution à deux échelons où le stock est géré par le vendeur pour les opérations de production et d'approvisionnement d'armature en acier. Le modèle de programmation par contraintes qu'ils ont développées a permis de minimiser les niveaux de stocks pour l'ensemble des membres de la chaîne d'approvisionnement et de réduire les coûts en intégrant les opérations de production et d'approvisionnement. Fang et Ng (2011) argumentent que la planification des flux de matériaux est un facteur important dans la réduction des coûts logistiques des matériaux. Les auteurs ont su identifier les différentes composantes du coût en appliquant la méthode ABC, afin d'analyser les opérations logistiques du béton préfabriqué. Faisant ainsi, ils ont pu générer un outil de gestion des coûts systémiques et valider leur travail en utilisant un algorithme générique pour établir la planification de l'approvisionnement en matériel.

Certaines études portaient spécifiquement sur le problème de la congestion et de l'espace limité sur le site dans les immeubles de grande hauteur. (Said et El-Rayes, 2011 ; Said et El-Rayes, 2013) ont étudié l'impact des limitations d'espace dans un projet à grande échelle sur les activités logistiques. Les auteurs soutiennent que le stockage des matériaux est lié aux activités d'approvisionnement, en particulier lorsque l'espace de stockage sur le chantier est limité. Par conséquent, l'intégration de la planification du stockage des matériaux est essentielle afin d'améliorer la productivité de la construction et réduire les coûts logistiques. Ces auteurs se concentrent sur les problèmes d'aménagement du site pour résoudre les problèmes d'espace de stockage limité dans les immeubles de grande hauteur. Liu, Xu et Zhang (2015) ont alors élaboré un modèle de chaîne d'approvisionnement en matériaux pour permettre aux acteurs du projet de contrôler les coûts opérationnels.

Dans leurs recherches (Ma, Yan, Kang et Wei, 2016) ont présenté une méthode de programmation à deux niveaux basés sur la théorie aléatoire floue pour décrire l'incertitude des coûts de transport. Le modèle permet de minimiser le coût de production et le coût de distribution. Ils ont résolu le problème en utilisant un algorithme génétique hybride à deux niveaux, puis ils ont appliqué leur modèle développé dans un projet hydroélectrique. En outre, Liu, Xu et Qin (2017) ont également utilisé la logique floue pour modéliser les incertitudes dans les retards d'approvisionnement, les commandes urgentes, et les changements de la demande. Ainsi, leur modèle intégré optimise à la fois les coûts du fabricant et les niveaux de services dans un projet hydroélectrique. Sanjay et Tindwani (2017) ont appliqué une approche quantitative pour démontrer la praticabilité d'une méthode d'optimisation dans le but d'obtenir des plans logistiques rentables au sein d'un projet de construction de route.

Dell'Amico et Novellani (2017) ont discuté de l'intégration de la chaîne d'approvisionnement de la construction en centralisant la chaîne d'approvisionnement à l'aide de centres de consolidation. Dans le cadre d'une initiative européenne visant à limiter l'impact négatif de la logistique de la construction en zone urbaine, le modèle à deux niveaux est résolu à l'aide de l'algorithme L-Shaped. Le modèle résout le problème de l'emplacement des installations et optimise les flux de matériaux et les stocks, tant en amont qu'en aval et au centre logistique. Lu et al., (2018) ont développé un modèle intégré de réapprovisionnement et d'allocation des stocks. Le modèle d'inventaire centralisé utilise des centres de consolidation afin de minimiser les coûts d'acquisition de stock et les coûts de retard du projet, ainsi que le coût des activités des projets. Le modèle intègre les activités sur le site de construction avec les activités logistiques, en optimisant la politique d'allocation des matériaux et le niveau de stock de bases au centre de consolidation. Le modèle mathématique développé prend en considération les incertitudes dans le rendement de l'offre et la demande non stationnaire. Dans leurs études Jaskowski, Sobotka et Czarnigowska (2018) optimisent le coût total de gestion des stocks en utilisant un modèle de programmation linéaire. Le cadre proposé génère le plan d'approvisionnement optimal de deux types de matériaux différents et prend en considération le stockage limité sur site d'un projet de sous-bas routier. Hsua, Angeloudis et Aurisicchio (2018) se sont concentrés sur le problème de la fabrication modulaire, les auteurs ont développé

un modèle programmation stochastique qui établit les plans optimaux pour la production, le transport et la gestion des stocks dans la construction modulaire. Les auteurs étudient l'impact des variations de la demande sur la planification de construction.

Une étude récente de Fang et Ng (2019) fait appel aux algorithmes génétiques et à la méthode ABC pour élaborer des plans logistiques pour la production, l'approvisionnement et la consommation de matériaux de construction. Leurs recherches prennent en compte la planification des projets, la planification de la production ainsi que les délais de livraison des produits de construction préfabriqués. Deng, Gan, Das, Cheng et Anumba (2019) ont proposé un modèle intégré qui combine le GIS et le BIM en 4D, afin de déterminer la sélection optimale de plusieurs variables logistiques. Ces derniers sont la sélection des fournisseurs, l'identification de nombre optimal de livraisons et l'attribution de centres de consolidation dans les régions encombrées. Cette solution est générée tout en minimisant le coût logistique total de la construction. Plus récemment, Golpîra (2020) a utilisé la programmation linéaire en nombres entiers qui incorpore une stratégie d'inventaire gérée par les fournisseurs. La solution développée optimise des tâches de la chaîne d'approvisionnement comme les décisions relatives à l'emplacement des installations, le flux de matériaux dans chaque échelon, la sélection des fournisseurs et les tâches d'affectation. Le modèle MILP optimise la chaîne d'approvisionnement de construction multi projets, multi ressources et multi fournisseurs.

Classification des modèles de prise de décision

Nous réalisons une première classification des articles sélectionnés dans le tableau 2.1, afin d'identifier les méthodes modélisation, les méthodes de résolution utilisée et l'objectif de l'étude réalisée par les chercheurs.

Tableau 2.1 Résumé de la littérature

Référence	Méthode de modélisation	Méthode de résolution	Objective
(Tserng et al., 2006)	Optimisation	Programmation par contraintes	Développer un système d'aide à la décision pour générer un plan de production et d'approvisionnement pour un fournisseur et des acheteurs de barres d'armature en acier
(Fang et Ng, 2011)	Optimisation	Algorithme génétique	Appliquer l'approche ABC pour optimiser la logistique Du béton préfabriqué entre le fournisseur et le chantier
(Said et El-Rayes, 2011)	Optimisation	Algorithme génétique	Intégrer et optimiser les décisions de planification de l'approvisionnement en matériaux et de l'aménagement du chantier
(Said et El-Rayes, 2013)	Optimisation	Algorithme génétique non linéaire multi objectif	Modéliser et utiliser les espaces intérieurs des bâtiments en construction pour générer des plans logistiques optimaux
(Liu et al., 2015)	Optimisation dynamique et Simulation	Algorithme d'optimisation par essais particuliers	Optimiser la chaîne d'approvisionnement de la construction pour permettre au fournisseur et aux entrepreneurs de contrôler les coûts opérationnels dans le cadre d'un plan d'achat dynamique compte tenu des contraintes de conception et de budget
(Ma et al., 2016)	Optimisation	Algorithme génétique à deux étages basés sur la logique floue	Développer un modèle de planification de la production et de la distribution
(Sanjay et Tindwani, 2017)	Optimisation	Programmation linéaire	Développer un modèle qui intègre la planification de la production et la distribution en utilisant une programmation à deux niveaux pour optimiser l'allocation des usines et des entrepôts tout en minimisant le coût global

Tableau 2.1 Résumé de la littérature (suite)

Référence	Méthode de modélisation	Méthode de résolution	Objective
(Liu et al., 2017)	Optimisation	Algorithme génétique hybride flou, aléatoire	Optimiser un modèle intégré de planification des achats et de la production à objectifs multiples sous incertitudes
(Dell'Amico et Novellani, 2017)	Optimisation	Programmation stochastique en deux étapes	Optimiser la logistique des chantiers de construction en zone urbaine par l'utilisation des centres de consolidation
(Lu et al., 2018)	Optimisation	Programmation non linéaire	Modéliser les décisions de réapprovisionnement et d'allocation des stocks par la gestion centralisée des matériaux
(Hsua et al., 2018)	Optimisation	Programmation stochastique en deux étapes	Optimiser les processus logistiques en construction modulaire couvrant trois niveaux d'opération : fabrication, stockage et assemblage
(Jaśkowski et al., 2018)	Optimisation	Programmation linéaire mixte en nombres entiers flous	Optimiser les opérations logistiques des matériaux de construction consommés irrégulièrement
(Deng et al., 2019)	Simulation et optimisation	Optimisation BIM-GIS	Intégrer les décisions de la chaîne d'approvisionnement de la construction et les décisions d'allocation des centres de consolidation, en utilisant les informations de 4D BIM et GIS
(Fang et Ng, 2019)	Optimisation	Algorithme génétique	Optimiser la production et l'approvisionnement en béton préfabriqué
(Golpîra, 2020)	Optimisation	Programmation en nombre entier	Intégration d'une stratégie d'inventaire gérée par le fournisseur (VMI) pour une chaîne d'approvisionnement en construction (CSC) multi projets, multi ressources et multi fournisseurs
Cette étude	Optimisation	Programmation en nombre entier	Optimisation et coordination sur site et hors site de la chaîne d'approvisionnement de la construction dans les zones urbaines congestionnées en utilisant des centres de consolidation de la construction

On propose une deuxième classification selon des mots-clés liée à notre problématique de recherche telle que présentée dans le tableau 2.2. La première colonne est attribuée à l'horizon de planification, on distingue deux définitions, un horizon de planification multi période (MP), et uni période (SP), dans la deuxième colonne nous indiquons si la structure de la chaîne logistique étudiée est une structure sur plusieurs échelons (ME) ou non (SP), comme établi dans la littérature, nous définissons l'échelon comme le réseau entre deux installations de type différent. Les deux dernières colonnes définissant si la structure de la chaîne d'approvisionnement étudiée est multi site (MS) ou non (ME) et multi matériaux (MM) ou non (SM).

On suggère une troisième classification de la revue de littérature selon les décisions prises en considération. Si l'auteur considère l'optimisation de sélection des fournisseurs, l'optimisation des coûts de transport, l'optimisation des coûts de stockage, l'optimisation des coûts d'achat, l'optimisation de décision d'allocations des centres de consolidation de construction et enfin l'optimisation de planification des activités comme le présente le tableau 2.3.

Tableau 2.2 Classifications de la littérature selon la structure de chaîne d'approvisionnement

	Horizon		Échelon		Site		Matériaux		Type d'e projet
	SP	MP	SE	ME	SS	MS	SM	MM	
(Tserng et al., 2006)		*	*		*		*		Usine
(Fang et Ng, 2011)		*		*	*		*		Projet fictif
(Said et El- Rayes, 2011)		*	*		*			*	Projet de cons truction de grande hauteur
(Said et El- Rayes, 2013)		*	*		*			*	Projet de cons truction de grande hauteur
(Liu et al., 2015)	*			*	*		*		Projet de constru ction hydroél ectrique
(Ma et al., 2016)	*			*	*			*	Projet de constru ction hydroél ectrique
(Sanjay et Tindwan i 2017)				*		*	*		Projet de constru ction d'une route

(Liu et al., 2017)	*		*	*		*	Projet de construction hydroélectrique
(Dell’Amico et Novella ni, 2017)	*		*	*		*	Sites de construction en zone urbaine
(Lu et al., 2018)	*		*	*		*	Projet fictif
(Hsua et al., 2018)	*		*		*	*	Grand projet de développement résidentiel
(Jaśkowski et al., 2018)	*		*	*		*	Base routière
(Deng et al., 2019)			*		*	*	Un réseau de chantier
(Fang et Ng, 2019)	*		*	*		*	Projet fictif
(Golpîra, 2020)	*		*		*	*	Projet fictif
Cette étude	*		*		*	*	Projet fictif
MP : multi période	SE : uni échelon	ME : plusieurs échelons	SS : uni site		MS : multi-site	SM : multi matériaux	MM : multi matériaux

Tableau 2.3 Classifications de la littérature selon les décisions d'optimisation de la chaîne logistique

Référence	Sélections de fournisseurs	Décisions de stockage	Achat de matériaux	Allocation de CCC	Gestion de Project
(Tserng et al., 2006)		*			-
(Fang et Ng, 2011)		*	*		Planning
(Said et El-Rayes, 2011)		*	*		Planning
(Said et El-Rayes, 2013)		*	*		Planning
(Liu et al., 2015)		*	*		-
(Ma et al., 2016)			*		-
(Sanjay et Tindwani, 2017)			*		-
(Liu et al., 2017)		*	*		-
(Dell Amico et Novellani, 2017)		*		*	-
(Lu et al., 2018)		*			Exécution
(Hsua et al., 2018)		*			-
(Jaśkowski et al., 2018)		*	*		-
(Deng et al., 2019)	*	*	*	*	-
(Fang et Ng, 2019)		*	*		Planning
(Golpîra, 2020)	*	*		*	-
Cette étude	*	*	*	*	Planning

2.6 Limites de recherche et contributions

Cette analyse de la littérature sur la chaîne d'approvisionnement dans l'industrie de construction était essentielle afin de mieux comprendre la structure de la SC, les inconvénients et les lacunes du secteur de la construction et pour identifier la solution proposée servant à améliorer les performances du CSC.

La majeure partie de la recherche a identifié une série d'actions jugées prometteuses. Pourtant, les solutions proposées reflètent des caractéristiques à court terme de la chaîne d'approvisionnement de la construction. Elles ne permettent pas d'investir dans une solution durable à long terme, tel un centre de consolidation. Néanmoins, les études d'optimisation réalisées à ce sujet sont limitées. En outre, ces études ne tiennent pas compte du facteur d'intégration lorsqu'elles étudient l'impact du centre de consolidation de la construction et n'incluent pas les principales parties prenantes dans le processus décisionnel. Cela est démontré par le fait que le centre de consolidation de la construction étudiée est très simple et consiste généralement d'un seul site de construction. En effet, aucune étude n'inclut le facteur de synchronisation de plusieurs projets de construction, en étudiant la capacité à coordonner plusieurs projets de construction récurrents pour réduire l'impact négatif de la passation de marchés décentralisée sur la chaîne logistique en matière de coût et sur les zones urbaines en ce qui concerne l'impact nuisible de grandes quantités entrant dans les zones urbaines.

Dans notre travail, nous utilisons une solution quantitative pour étudier le schéma de coordination et son impact potentiel sur la chaîne d'approvisionnement de la construction. Nous mettons l'accent sur la planification de la chaîne d'approvisionnement ainsi que l'intégration de ses acteurs dans la planification de l'offre et de la demande. Nous partageons nos trouvailles dans le but d'améliorer la collaboration et la confiance entre les parties prenantes.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE ET DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE D'OPTIMISATION

Ce chapitre a pour objectif de présenter en détail la problématique de la recherche. La première étape est de présenter le réseau logistique, les principales caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement et de décrire ses processus opérationnels. Dans un deuxième temps, nous présentons la formulation du modèle mathématique. Nous expliquerons les expressions mathématiques, nous présenterons les coûts considérés, les paramètres et les variables de décision.

3.1 Définition de la problématique

L'entrepreneur général est le représentant du propriétaire pour l'exécution de la construction. Selon les directives du propriétaire, l'entrepreneur général contacte les fournisseurs sélectionnés pour se procurer des matériaux de construction, puis les matériaux sont transportés vers les points de stockage et de demande (Liu et al., 2017). Lorsque l'on envisage un réseau de chantiers de construction en zone urbaine, les matériaux sont livrés sur des véhicules séparés et sans coordination, ce qui peut conduire à des encombrements en zone urbaine et sur les chantiers. De plus, de nombreuses livraisons sont envoyées en petites quantités, contenant quelques colis, entraînant un nombre supplémentaire des opérations de transports (CIVIC Project, 2018). La figure 3.1 présente la structure générale de la chaîne d'approvisionnement traditionnelle.

Dans notre étude, nous proposons une chaîne d'approvisionnement intégré avec des centres de consolidation de la construction tirant parti de la collaboration et de la coopération entre les différents acteurs de SC. En général, l'opérateur de CCC gère les opérations logistiques des sites de construction telles que l'approvisionnement en matériaux, la livraison, le stockage, et la coordination des livraisons entre les différents sites de construction. Les décisions sont communiquées aux contractants par le biais de documents officiels. L'utilisation de la solution

du centre de consolidation est facultative pour certaines livraisons de matériaux. L'opérateur de CCC est traité comme un décideur focal. En matière de logistique de construction, les décideurs focaux doivent identifier les coûts optimaux pour faire fonctionner le projet, y compris les coûts de commande, les coûts de contrôle, les coûts de transport et les coûts de stockage des matériaux (Fang et Ng 2019).

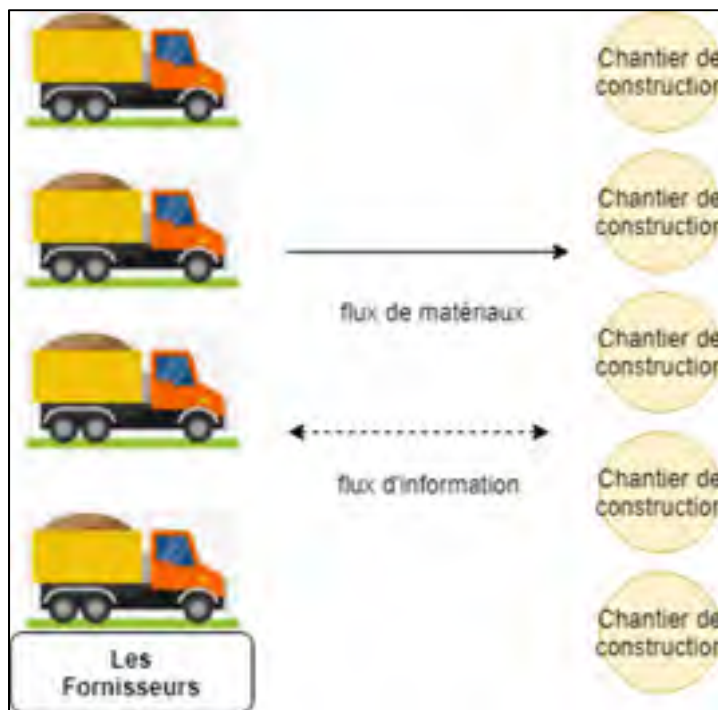


Figure 3.1 Chaîne d'approvisionnement traditionnelle dans l'industrie de construction

En général, les entrepreneurs travaillant sur les chantiers de construction passent des commandes pour leurs besoins en matériaux auprès des fournisseurs et demandent que la livraison des matériaux en vrac soit faite au CCC et pas au chantier de construction. Une fois les matériaux sont prêts, les entrepreneurs reçoivent un avis du CCC. Les entrepreneurs passent alors un ordre de livraison, avec le CCC pour les matériaux dont ils avaient besoin en juste à temps (Transport for London, 2008). L'entrepreneur principal gère plusieurs projets simultanés, de nature similaire, appartenant à la même entreprise de construction où la coordination de leurs opérations peut être bénéfique. Traditionnellement, chaque projet est géré individuellement. Nous proposons un schéma coordonné pour ces projets simultanés.

Nous étudions le rôle qui pourrait être joué par les CCC une fois intégré comme point de stockage pour les matériaux en vrac. Ainsi, dans cet exemple, nous considérons un problème NP-complet à deux échelons, un problème d'optimisation MILP pour gérer le fonctionnement d'une CSC multi projets, multi ressources, multi fournisseurs et multi périodes qui est intégré au problème de l'emplacement des installations. Par la suite l'approche d'optimisation choisie est utilisée pour étudier l'impact des centres de consolidation sur la chaîne d'approvisionnement de la construction dans le cadre d'une zone urbaine encombrée, la figure 3.2, ci-après montre plus en détail la structure de la chaîne d'approvisionnement étudié.

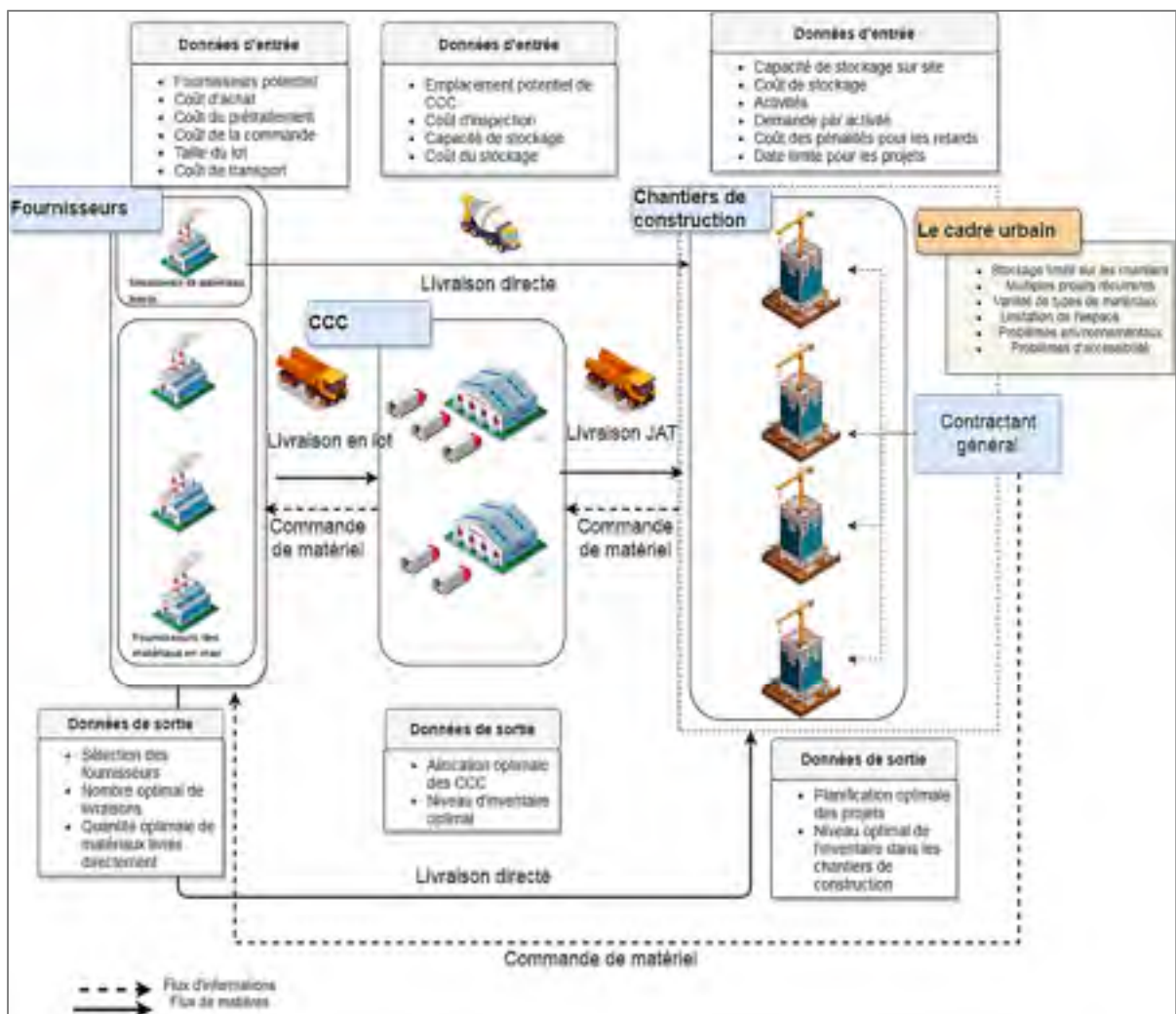


Figure 3.2 Chaîne d'approvisionnement avec les centres de consolidations

3.2 Structure de la chaîne d'approvisionnement

3.2.1 Fournisseurs

Les fournisseurs $s \in S$ sont composés de (2) groupes de fournisseurs, (1) les fournisseurs des matériaux en vrac. Ils sont les fournisseurs $s \in S^1$ des matériaux qui sont livrés directement vers le chantier et/ou livrés via le centre de consolidation. (2) Les fournisseurs $s \in S^2$ des matériaux lourds tels que le ciment. Ces matériaux ne peuvent être envoyés que directement vers les chantiers. On note que chaque fournisseur a une capacité limitée de production de matériaux qui ne peut pas être dépassée et un coût de commande fixe compté une fois dans la période de planification.

3.2.2 Centres de consolidation de la construction

Les livraisons de matériaux sont effectuées en taille de lots, déchargées et contrôlées pour s'assurer que les matériaux ne sont pas endommagés. L'utilisation du centre de consolidation implique un coût fixe pour la location, et des coûts variables pour la conservation des matériaux et le déchargement des matériaux. Les matériaux sont stockés au CCC et ne pouvant excéder une capacité limitée, par la suite les matériaux de construction sont consolidés et livrés en JÀT.

3.2.3 Sites de construction

On considère un réseau de projets récurrents $i \in I$. Chaque chantier de construction est constitué d'un ensemble d'activités. Chaque activité $j \in A_I$ est défini par une consommation de ressources et une durée fixe. On considère que les chantiers sont situés dans une zone urbaine encombrée avec une zone de stockage limitée et donc un coût de stockage plus élevé.

3.3 Hypothèses :

- Lors de l'utilisation des services de CCC, les fournisseurs proposent des rabais sur les achats en taille de lots . Les fournisseurs bénéficient également de l'utilisation du CCC,

car la production en grande taille de lot réduit leurs coûts d'installation et les coûts de transport associés à la production fréquente et instables des matériaux de construction;

- Les chantiers de construction sont situés dans des centres urbains, avec des coûts de stockage élevés sur le site de construction à cause de la capacité limitée du chantier ;
- Les localisations potentielles de CCC sont sélectionnées en raison de leur proximité avec les sites de construction. Cependant, la détermination du site n'est pas basée sur le choix d'un emplacement optimal pour minimiser les besoins de transport routier, mais plutôt sur la disponibilité du site ;
- Nous introduisons une pénalité qui doit être payée lorsque les projets sont retardés en tant qu'un compromis coût-temps, mais nous n'incluons pas les coûts d'exécution.
- Les matériaux sont divisés en deux types :
 - a. Le premier type concerne les matériaux qui peuvent être envoyés directement sur le chantier de construction ou envoyé en taille de lot;
 - b. Le deuxième type concerne les matériaux qui doivent être livrés directement sur le chantier.
- Les relations d'antériorités entre les activités sont des relations fin-début avec des décalages nuls ;
- La répartition des coûts logistiques de construction est basée sur des accords contractuels entre le propriétaire, l'entrepreneur principal et les fournisseurs. Les frais de stockage et les frais de transport sont à la charge des fournisseurs. Les frais de stockage sur les sites de construction, chargement et déchargement des matériaux dans le CCC et les frais de fixation sont absorbés par l'entrepreneur.

3.4 Modèle mathématique

Dans cette partie, nous présentons la formulation mathématique de problème qui inclut la fonction objective et les contraintes de problème.

3.4.1 Ensembles et indices

S	Ensemble de fournisseurs, indice $s \in S$
M	Ensemble de matériaux, indice $m \in M$
M^1	Ensemble de matériaux de type 1 qui peuvent être transportés à l'entrepôt et /ou directement envoyé vers le chantier de construction, indice $m \in M^1$
M^2	Ensemble de matériaux de type 2 qui sont envoyés directement vers le chantier, indice $m \in M^2$
S^1	Ensemble de fournisseurs qui produisent les matériaux de type 1, indice $s \in S^1$
S^2	Ensemble de fournisseurs qui produisent les matériaux de type 2, indice $s \in S^2$
T	Ensemble de périodes de planification, indice $t \in T$
Q	Ensemble d'emplacements potentiels pour les CCC, indice $k \in Q$
I	Ensemble de sites de construction, indice $i \in I$
A_i	Ensemble d'activités de chantier i , indice $j \in A_i ; j \in \{1, \dots, i_n\}$
$P_{(i,j)}$	Ensemble d'activités antécédentes de l'activité $j \in A_i$ sur le chantier $i \in I$, indice $h \in P_{(i,j)}$

3.4.2 Paramètres

T_{ms}	Coût de transport par taille de lot de fournisseurs $s \in S^1$ aux CCC pour les matériaux $m \in M^1$
I_m	Coût de transport par unité pour les matériaux $m \in M^1$ de CCC au chantier de construction pour n'importe quelle période
DC_{ms}	Coût de transport direct par unité des fournisseurs $s \in S$ au chantier de construction pour les matériaux $m \in M$ pour toute période
P_{ms}	Prix d'achat régulier auprès des fournisseurs $s \in S$ pour les matériaux $m \in M$
D_{ms}	Prix d'achat réduit auprès des fournisseurs $s \in S^1$ pour les matériaux $m \in M^1$ pour toute période $t \in T$
k_m	Coût de prétraitement par unité pour le chargement des matériaux $m \in M$ pour toute période

U_{sm}	Capacité du fournisseur $s \in S$ pour les matériaux $m \in M$
FS_{ms}	Coût fixe : coût administratif / coût d'approvisionnement pour la commande des matériaux $m \in M$ auprès des fournisseurs $s \in S$
Q_{ms}	Taille de lot fixe proposée par le fournisseur $s \in S^1$ pour les matériaux $m \in M^1$
h_{mk}	Coût de stockage des matériaux $m \in M^1$ au CCC $k \in Q$ pour toute période
V_m	Coût d'inspection des matériaux $m \in M^1$ au CCC $k \in Q$
F_K	Capacité du CCC $k \in Q$
fw_k	Coût fixe de location et frais administratifs pour le CCC $k \in Q$
Z_{im}	Capacité du chantier $i \in I$ pour les matériaux $m \in M$
DD_i	Date d'échéance du chantier $i \in I$
μ_{ij}	Durée de l'activité $j \in A_i$ du chantier $i \in I$
δ_{ijm}	Demande de matériaux $m \in M$ d'activité $j \in A_i$ pour chantier $i \in I$
p_i	Pénalité d'avoir un chantier de construction $i \in I$ en retard après la date d'échéance DD_i et une période
hc_{mi}	Coût unitaire de stockage des matériaux $m \in M$ sur le chantier $i \in I$ pour toute période
INh_{imt}	Stock initial pour matériaux $m \in M^2$ sur le chantier $i \in I$ à la période $t \in T$

3.4.3 Variables de décision

a_{skmt}	Nombre de livraisons de camions pour les matériaux $m \in M^1$ des fournisseurs $s \in S^1$ au CCC, $k \in Q$ à la période $t \in T$
X_{simt}	Quantité de matériaux $m \in M^1$ des fournisseurs $s \in S^1$ envoyées au le chantier $i \in I$ à la période $t \in T$
O_{simt}	Quantité de matériaux $m \in M^2$ des fournisseurs $s \in S^2$ envoyées au chantier $i \in I$ à la période $t \in T$
y_{kimt}	Flux de matériaux $m \in M^1$ du CCC, $k \in Q$ au chantier $i \in I$ à la période $t \in T$
Iw_{kmt}	Niveau de stock des matériaux $m \in M^1$ dans le CCC $k \in Q$ à la période $t \in T$
Ib_{imt}	Niveau de stock des matériaux $m \in M^1$ dans le chantier $i \in I$ à la période $t \in T$

Ih_{imt}	Niveau de stock des matériaux $m \in M^2$ dans le chantier $i \in I$ à la période $t \in T$
φ_{ijt}	Variable binaire qui est égale à 1 si l'activité $j \in A_i$ du chantier $i \in I$ commence à $t \in T$
ϑ_{ijt}	Variable binaire qui est égale à 1 si l'activité $j \in A_i$ du chantier $i \in I$ se termine à $t \in T$
W_k	Variable binaire qui est égale à 1 si CCC est situé à l'emplacement $k \in Q$
S_{sm}	Variable binaire qui est égale à 1 si le fournisseur $s \in S$ est sélectionné pour le matériau $m \in M$

3.4.4 Structure des coûts

3.4.4.1 Coût d'approvisionnement

$$\begin{aligned}
& \sum_{m \in M^1 \cup M^2} \sum_{s \in S^1 \cup S^2} F S_{ms} S_{ms} + \sum_{s \in S^1} \sum_{k \in Q} \sum_{m \in M^1} \sum_{t \in T} (K_m + D_{ms}) Q_{ms} a_{skmt} \\
& + \sum_{s \in S^1} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M^1} \sum_{t \in T} (K_m + P_{ms}) X_{simt} \\
& + \sum_{s \in S^2} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M^2} \sum_{t \in T} (K_m + P_{ms}) O_{simt}
\end{aligned} \tag{3.1}$$

3.4.4.2 Coût de transport

$$\begin{aligned}
& \sum_{s \in S^1} \sum_{k \in Q} \sum_{m \in M^1} \sum_{t \in T} T_{ms} a_{skmt} + \sum_{s \in S^1} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M^1} \sum_{t \in T} DC_{ms} X_{simt} \\
& + \sum_{s \in S^2} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M^2} \sum_{t \in T} DC_{ms} O_{simt} + \sum_{k \in Q} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M^1} \sum_{t \in T} I_m y_{kimt}
\end{aligned} \tag{3.2}$$

3.4.4.3 Coût de stockage

$$\begin{aligned}
& \sum_{k \in Q} f W_k W_k + \sum_{s \in S^1} \sum_{k \in Q} \sum_{m \in M^1} \sum_{t \in T} V_m a_{skmt} Q_{ms} \\
& + \sum_{s \in S^1} \sum_{k \in Q} \sum_{m \in M^1} \sum_{t \in T} \left(\frac{I W_{km(t-1)} + a_{skmt} Q_{ms} + I W_{kmt}}{2} \right) h_{mk} \\
& + \sum_{k \in Q} \sum_{i \in I} \sum_{s \in S^1} \sum_{m \in M^1} \sum_{t \in T} \left(\frac{I b_{im(t-1)} + y_{kimt} + X_{msit} + I b_{imt}}{2} \right) h c_{im} \\
& + \sum_{s \in S^2} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M^2} \sum_{t \in T} \left(\frac{I h_{im(t-1)} + O_{simit} + I h_{imt}}{2} \right) h c_{im}
\end{aligned} \tag{3.3}$$

3.4.4.4 Coût de retard du projet de construction

$$\sum_{i \in I} \sum_{t=DD_i+1 \in T} p_i (t - (DD_i + 1)) \vartheta_{i,t} \tag{3.4}$$

3.4.5 Fonction objective

$$Min FO = MIN \{(3.1) + (3.2) + (3.3) + (3.4)\} \tag{3.5}$$

La fonction objective optimise le coût logistique total de construction qui est composé de quatre éléments de coût. Le coût d'approvisionnement (3.1) qui est la somme de la passation des commandes, du prétraitement des livraisons et le coût d'achat de matériaux. Nous insistons sur l'importance de l'escompte appliqué lors de l'achat de matériaux en grande taille de lot. La deuxième partie (3.2) représente le coût du transport à la fois pour les livraisons directes et les livraisons par le centre de consolidation de la construction. La troisième partie (3.3) représente le coût de stockage, ce coût est composé du coût fixe du centre de consolidation de la construction, les coûts variables pour le stockage des matériaux sur les sites de construction et le coût de stockage dans consolidation et le coût d'inspection des matériaux arrivant au centre

de consolidation de la construction. Nous adoptons la méthode d'inventaire moyen lors de la modélisation de l'inventaire. La dernière partie du coût logistique total de construction est le coût de la pénalité (3.4) à appliquer lorsqu'on dépasse de l'échéance du projet de construction.

3.4.6 Contraintes

Le problème abordé ici est confronté à différentes contraintes. En effet, au cours des opérations d'approvisionnement, les acteurs considérés doivent satisfaire la totalité de la demande, respecter les capacités des sites et les contraintes de la planification des projets.

Capacité des fournisseurs

$$\sum_{k \in Q} a_{skmt} Q_{ms} + \sum_{i \in I} X_{simt} \leq U_S S_{sm} \quad \forall s \in S^1, \forall m \in M^1, \forall t \in T \quad (3.6)$$

$$\sum_{i \in I} O_{simt} \leq U_S S_{sm} \quad \forall s \in S^2, \forall m \in M^2, \forall t \in T \quad (3.7)$$

Capacité des centres de consolidations en construction

$$\sum_{m \in M^1} I W_{kmt} \leq F_K W_K \quad \forall K \in Q, \forall t \in T \quad (3.8)$$

Capacité des sites de construction

$$l b_{imt} \leq Z_{im} \quad \forall i \in I, \forall m \in M^1, \forall t \in T \quad (3.9)$$

$$l h_{imt} \leq Z_{im} \quad \forall i \in I, \forall m \in M^2, \forall t \in T \quad (3.10)$$

Flux de matériaux de construction entre fournisseurs et CCC

$$Iw_{kmt} = 0 \quad \forall m \in M^1, \forall K \in Q, \forall t = 0 \quad (3.11)$$

$$Iw_{km(t-1)} + \sum_{s \in S^1} a_{mskt} Q_{ms} \quad \forall m \in M^1, \forall K \in Q, \quad (3.12)$$

$$= Iw_{kmt} + \sum_{i \in I} y_{ikmt}$$

$$\forall t \in \{1, T_{N-1}\}$$

$$Iw_{km(t-1)} + \sum_{s \in S^1} a_{mskt} Q_{ms} = \sum_{i \in I} y_{ikmt} \quad \forall m \in M^1, \forall K \in Q, \forall t = T_N \quad (3.13)$$

Flux de matériaux entre les CCC et les sites de construction pour les matériaux en vrac

$$Ib_{imt} = 0 \quad \forall m \in M^1, \forall i \in I, \forall t = 0 \quad (3.14)$$

$$Ib_{im(t-1)} + \sum_{k \in Q} y_{ikmt} + \sum_{s \in S^1} X_{simt} \quad \forall m \in M^1, \forall i \in I, \forall t \in \{1, T_{N-1}\} \quad (3.15)$$

$$= Ib_{imt} + \sum_{j \in A_I} \delta_{ijm} \varphi_{ijt}$$

$$Ib_{im(t-1)} + \sum_{k \in Q} y_{ikmt} + \sum_{s \in S^1} X_{simt} \quad \forall m \in M^1, \forall i \in I, \forall t = T_N \quad (3.16)$$

$$= \sum_{j \in A_I} \delta_{ijm} \varphi_{ijt}$$

Flux de matériaux entre les CCC et les sites de construction pour les matériaux en vrac

$$Ih_{imt} = INh_{imt} \quad \forall m \in M^2, \forall i \in I, \forall t = 0 \quad (3.17)$$

$$Ih_{im(t-1)} \sum_{s \in S^2} O_{simt} = Ih_{imt} + \sum_{j \in A_I} \delta_{ijm} \varphi_{ijt} \quad \forall m \in M^2, \forall i \in I \quad (3.18)$$

$$\forall t \in \{1, T_{N-1}\}$$

$$Ih_{im(t-1)} + \sum_{s \in S^2} O_{simt} = \sum_{j \in A_I} \delta_{ijm} \varphi_{ijt} \quad \forall m \in M^2, \forall i \in I, \forall t = T_N \quad (3.19)$$

Contrainte de sélection des fournisseurs

$$\sum_{s \in S} S_{sm} = 1 \quad \forall m \in M \quad (3.20)$$

Contrainte de planification des projets

$$\sum_{t \in T} t \varphi_{iht} + \mu_{ih} \leq \sum_{t \in T} t \varphi_{ijt} \quad \forall i \in I, \forall j \in A_I, h \in P_{(i,j)} \quad (3.21)$$

$$\sum_{t \in T} t \varphi_{ijt} + \mu_{ij} = \sum_{t \in T} t \vartheta_{ijt} \quad \forall i \in I, \forall j \in A_I \quad (3.22)$$

$$\sum_{t \in T} \varphi_{ijt} = 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in A_I \quad (3.23)$$

$$\sum_{t \in T} \vartheta_{ijt} = 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in A_I \quad (3.24)$$

Contraintes logiques

$$\sum_{i \in I} \sum_{m \in M^1} y_{kimt} \leq N W_K \quad \forall k \in Q, \forall t \in T \quad (3.25)$$

$$a_{skmt} \leq N W_K \quad \forall s \in S^1, \forall m \in M^1, \forall k \in Q, \forall t \in T \quad (3.26)$$

Contraintes de définitions de variables

$$X_{simt} \geq 0 \quad \forall s \in S^1, \forall i \in I, \forall m \in M^1, \forall t \in T \quad (3.27)$$

$$a_{mskt} \geq 0 \quad \forall s \in S^1, \forall k \in Q, \forall m \in M^1, \forall t \in T \quad (3.28)$$

$$O_{simt} \geq 0 \quad \forall s \in S^2, \forall i \in I, \forall m \in M^2, \forall t \in T \quad (3.29)$$

$$Iw_{kmt} \geq 0 \quad \forall k \in Q, m \in M^1, \forall t \in T \quad (3.30)$$

$$y_{ikmt} \geq 0 \quad \forall k \in Q, \forall i \in I, \forall m \in M^1, \forall t \in T \quad (3.31)$$

$$Ib_{imt} \geq 0 \quad i \in I \forall, M \in M^1, \forall t \in T \quad (3.32)$$

$$Ih_{imt} \geq 0 \quad i \in I \forall, M \in M^2, \forall t \in T \quad (3.33)$$

$$\vartheta_{ijt} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in A_I, \forall t \in T \quad (3.34)$$

$$\varphi_{ijt} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in A_I, \forall t \in T \quad (3.35)$$

$$S_{sm} \in \{0,1\} \quad \forall s \in S, \forall m \in M \quad (3.36)$$

$$W_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in Q \quad (3.37)$$

Les contraintes (3.6) et (3.7) imposent les seuils des quantités des matériaux disponibles chez les fournisseurs. La contrainte (3.8) a pour effet de limiter les capacités de stockage chez les CCC. Les contraintes (3.9) et (3.10) signifient que l'inventaire dans les sites de construction ne doit pas dépasser une certaine valeur. Les contraintes (3.14) jusqu'à (3.19) assurent l'initialisation d'inventaire et la satisfaction de demande des sites de construction pour les deux types de matériaux. La contrainte (3.20) impose la sélection d'un seul fournisseur par matériau. L'ensemble des contraintes (3.21), jusqu'au (3.24) définissent les contraintes de planification des projets de construction. La contrainte (3.21) définit la relation de préséance entre les activités de même projet. La contrainte (3.22) impose la date d'achèvement d'une activité, et les contraintes (3.23) et (3.24) imposent que chaque activité débute et termine à une date unique. Les contraintes (3.25) et (3.26) sont des contraintes logiques. Enfin les contraintes (3.27), jusqu'au (3.33) imposent que les variables de décisions relatives aux flux et aux stocks soient entières et positives et que les variables restantes soient binaires (3.34), (3.35), (3.36) et (3.37).

3.5 Conclusion

Dans cette section, nous avons présenté la structure de la chaîne d'approvisionnement. L'utilisation de centres de consolidation contribuera à la baisse des coûts logistiques totaux.

Cependant, la centralisation des chaînes d'approvisionnement dans le secteur de la construction présente certains coûts supplémentaires. La mise en place de centres de consolidation dans la chaîne d'approvisionnement offre à l'entreprise le choix de revoir et d'adapter son plan d'approvisionnement, en envisageant un scénario de collaboration avec les fournisseurs. Les expérimentations menées dans le chapitre 4 serviront à déterminer dans quelle mesure cela est bénéfique pour l'entreprise. Le chapitre suivant présente plus en détail les données utilisées pour mener les expériences, ainsi que les résultats et leur analyse.

CHAPITRE 4

EXPÉRIMENTATIONS ET RÉSULTATS

Dans le chapitre précédent, nous avons proposé une formulation mathématique du problème de la chaîne d'approvisionnement des chantiers de construction dans les zones urbaines. Dans ce chapitre, nous commençons par présenter un exemple numérique de la chaîne d'approvisionnement et les données utilisées pour résoudre le problème, ensuite les résultats des expérimentations, ainsi que des analyses des résultats. Dans un premier temps, nous visons à identifier l'impact de centralisation des chaînes logistiques par l'utilisation des centres de consolidation sur la structure des coûts et flux de matériaux de construction, nous comparons les résultats avec le scénario où les chaînes d'approvisionnement sont indépendantes. Par la suite, une analyse de sensibilité est réalisée où on étudie l'impact de collaboration entre les acteurs de chaîne d'approvisionnement dans l'industrie de construction. Pour ce faire, on a choisi des paramètres bien différenciés ; les prix d'achat offerts par les fournisseurs, les coûts de transport et les coûts de pénalités de retard.

4.1 Exemple numérique

Nous considérons un réseau de chaîne d'approvisionnement pour évaluer la performance de notre modèle représentée dans le chapitre précédent. Nous voulons démontrer l'aptitude de modèle à optimiser la chaîne d'approvisionnement et la planification logistique d'un réseau de projets de construction dans une zone urbaine encombrée.

La chaîne d'approvisionnement est constituée de douze sites, dont six fournisseurs, deux centres de consolidation potentiels et quatre sites de construction. La chaîne d'approvisionnement est simplifiée à cause de la complexité des problèmes NP-complet ce qui signifie que des instances relativement larges ne peuvent pas être résolues de manière optimale par un algorithme de temps polynomial. On considère quatre matériaux en totalité, dont un fait partie des matériaux qu'on doit livrer directement vers les chantiers, et les trois restants peuvent

être envoyés directement ou à partir des CCC. Afin de mettre en œuvre le modèle proposé, et fournir une estimation réaliste, un projet de construction d'un bâtiment résidentiel a été choisi, les données collectées sont partiellement basées sur l'étude de Saïd et El-Rayes (2013). On considère que ce projet de construction renferme six activités fictives. Les opérations logistiques impliquent l'achat, le stockage et la livraison de (4) matériaux : 1) barre d'armature, 2) blocs de maçonnerie, 3) panneaux de cloison sèche et 4) tuiles de céramique. Ces matériaux sont généralement requis pour les activités au premier étage, les activités typiques au rez-de-chaussée et les activités en extérieur pour les immeubles de grande hauteur dans les zones urbaines. Pour cela nous utilisons des données approximatives et réelles recueillies dans la littérature et les sources de données pertinentes.

4.1.1 Approvisionnement

Le matériau m1 : barres d'armature est expédié directement sur le chantier (ensemble M^2). Trois fournisseurs, s1, s2 et s3, peuvent être choisis pour le matériau m1. Également, les matériaux m2, m3 et m4 ; blocs de maçonnerie, panneaux de cloison sèche et carreaux de céramique peuvent être acheminés au centre de consolidation ou directement envoyés vers les chantiers (ensemble M^1). Chacun des fournisseurs s4, s5 et s6 peut fournir les trois matériaux m2, m3 et m4, comme l'indique le tableau 4.1. Dans cette étude, nous optimisons le nombre de livraisons vers les CCC, ainsi que les quantités envoyées vers les sites de construction.

Tableau 4.1 Attribution de matériaux aux fournisseurs

Fournisseurs		S^2			S^1		
Type de matériaux	Matériaux	s1	s2	s3	s4	s5	s6
M^2	m1	x	x	x			
M^1	m2				x	x	x
	m3				x	x	x
	m4				x	x	x

Une fois le fournisseur est sélectionné, la passation de commande nécessite le paiement de frais de commande FS_{ms} . Les fournisseurs proposent deux plans d'achat, dont le premier offre des rabais D_{ms} lorsque l'entrepreneur achète par lots et utilise le centre de consolidation. Sinon, les entrepreneurs achètent à l'unité avec un prix P_{ms} et commandent que les matériaux de construction soient livrés directement sur le chantier. Pour les matériaux de construction du type 1, les entrepreneurs choisissent de livrer à l'unité avec des frais d'achat habituel P_{ms} . Le tableau 4.2, récapitule les prix d'achat, les frais de commande, la capacité des fournisseurs et les tailles de lots proposées.

Tableau 4.2 Valeurs des paramètres liés aux fournisseurs

Coûts de commande (en \$) FS_{ms}						
	s1	s2	s3	s4	s5	s6
m1	14	16	17,00	-	-	-
m2	-	-	-	104	107	115
m3	-	-	-	91	98	132
m4	-	-	-	6	7,4	5,4
Coûts d'achat (en \$) sans rabais P_{ms}						
m1	648	703	680	-	-	-
m2	-	-	-	9,60	11,52	12,48
m3	-	-	-	9,79	2,73	12,24
m4	-	-	-	0,21	0,19	0,14
Coûts unitaires d'achat (en \$) avec rabais D_{ms}						
m2	-	-	-	8,06	9,68	10,48
m3	-	-	-	8,23	10,69	110,28
m4	-	-	-	0,18	0,16	0,12
Taille de lots Q_{ms}						
m1	-	-	-	-	-	-
m2	-	-	-	1 000	3 000	3 500
m3	-	-	-	2 000	2 500	1 000
m4	-	-	-	3 500	5 500	2 000

Tableau 4.2 Valeurs des paramètres liés aux fournisseurs (suite)

Capacité des fournisseurs U_{ms}						
	s1	s2	s3	s4	s5	s6
m1	2 700	2 000	2 200	-	-	-
m2	-	-	-	90 000	95 000	80 000
m3	-	-	-	110 000	120 000	100 000
m4	-	-	-	120 000	100 000	110 000

4.1.2 Transport

On propose deux types de livraison pour les matériaux de construction : le premier est la livraison directe pour les matériaux lourds à un coût de transport DC_{ms} . Autrement, pour les matériaux de construction en vrac du type M¹, l'entrepreneur peut demander leur transport par lots à des frais T_{ms} vers les CCC et ensuite rappelés selon les besoins. La livraison de la CCC au chantier de construction entraîne un coût de transport égal à I_m . La deuxième possibilité est de livrer directement sur le chantier à des frais DC_{ms} . Les valeurs des coûts de transport sont indiquées dans le tableau 4.3

Tableau 4.3 Valeurs des paramètres liés au transport

Coûts de transport direct (en \$) DC_{ms}						
	s1	s2	s3	s4	s5	s6
m1	-	-	-	-	-	-
m2	-	-	-	8,06	9,68	10,48
m3	-	-	-	8,23	10,69	10,28
m4	-	-	-	0,18	0,16	0,12
Coûts de transport par taille de lot (en \$) T_{ms}						
	s1	s2	s3	s4	s5	s6
m2	-	-	-	1 747,20	4 492,80	5 840,64
m3	-	-	-	2 820,10	3 818,88	2 056,32
m4	-	-	-	85,45	77,40	42,72

Tableau 4.3 Valeurs des paramètres liés au transport (suite)

Coûts de transport direct (en \$) DC_{ms}						
	s1	s2	s3	s4	s5	s6
m1	259.20	281.20	272.00	-	-	-
m2	-	-	-	2,387	2,112	2,300
m3	-	-	-	2,009	2,138	2,720
m4	-	-	-	0,035	0,023	0,031
Coûts de transport de CCC vers les sites de construction (en \$) I_m						
m1	m2		m3		m4	
-	0,42		0,42		0,01	
Coût de prétraitement par unité de matière (en \$) K_m						
m1	m2		m3		m4	
0,0664	0,0135		0,0336		67,7000	

4.1.3 Stockage

Les matériaux de construction peuvent être stockés sur le chantier ou au CCC. Une fois que les matériaux du type M^1 arrivent au CCC, ils sont déchargés et contrôlés pour détecter les dommages, cette opération coûte des frais V_m . On a choisi un tarif $f w_k$ pour les opérations administratives et le loyer des centres de consolidation. À titre indicatif, les centres de consolidation ont des capacités de stockage élevées F_K . Cependant, chaque site de construction possède une capacité de stockage limitée Z_{im} et par conséquent les frais de stockage sur les chantiers sont plus élevés que celle des frais de stockage hc_{mi} des centres de consolidation. Ces valeurs sont retenues comme coût de stockage pour les matériaux du type 1, respectivement 4,48 \$, 4,635 \$ et 0,055 \$ pour les quatre sites de construction. Les valeurs associées aux opérations de stockages sont présentées dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4 Valeurs des paramètres liés au stockage

Coûts d'inspection et contrôle des matériaux dans les CCC (en \$) V_m		
	Centre de consolidation 1	Centre de consolidation 2
m2	0,0063	0,0053
m3	0,0062	0,0052
m4	0,0001	0,0001
Coûts de stockage dans les CCC (en \$) h_{mk}		
m2	0,7923	0,9508
m3	0,8323	0,9988
m4	0,0138	0,0166
Capacité de stockage dans les CCC F_K		
	Centre de consolidation 1	Centre de consolidation 2
	4 000	6 000
Coûts de fixe des CCC fw_k (en \$)		
	72 000	90 000

4.1.4 Les sites de construction

On suppose que la demande est étalée sur quatre chantiers de construction. L'ensemble des données de test se présente sous la forme de 4 groupes de réseaux de projets fictifs, chaque projet étant composé de 6 activités. Chaque activité est définie par des relations de préséance, comme le montre le tableau 4.5.

Tableau 4.5 Relations de préséance des activités

Activité	Préséance
1	–
2	1
3	1,2
4	2,3
5	3
6	4,5

Chaque activité possède un taux de consommation des matériaux de construction δ_{ijm} et une durée bien définie μ_{ij} dont les valeurs sont mentionnées dans le tableau 4.6 et le tableau 4.7. L'horizon de décision est fixé à 13 périodes. Les échéances du projet, DD_i sont égaux à leur chemin critique. Si ce délai est dépassé, le contractant doit payer des frais de pénalité p_i égal à 900 \$ pour chaque période dépassée. Le tableau 4.8 et le tableau 4.9 récapitulent les valeurs relatives aux activités et chantiers de construction.

Tableau 4.6 Demandes des activités de chaque site de construction en unité

Demande de site de construction 1 pour chaque activité δ_{ijm}						
	Activité 1	Activité 2	Activité 3	Activité 4	Activité 5	Activité 6
m1	93	95	102	0	0	0
m2	7 050	1 721	1 707	2 115	3 511	2 863
m3	5 979	2 228	2 792	6 289	2 341	6 853
m4	4 371	2 736	6 825	3 300	6 825	3 554
Demande de site de construction 2 pour chaque activité						
m1	104	110	0	0	124	125
m2	1 721	3 229	1 396	3 258	1 382	2 017
m3	4 964	5 584	5 048	6 797	2 877	2 708
m4	2 285	4 653	4 371	4 456	5 584	4 061
Demande de site de construction 3 pour chaque activité						
m1	101	69	96	79	126	112
m2	3 441	3 413	1 382	3 159	3 173	1 608
m3	5 612	3 018	2 538	5 302	3 779	1 890
m4	4 766	4 089	4 146	3 666	4 935	3 610
Demande de site de construction 4 pour chaque activité						
m1	0	0	127	116	91	91
m2	11 139	1 340	3 511	973	2 172	3 455
m3	4 710	5 358	6 768	6 374	3 892	4 061
m4	2 031	6 712	6 035	5 246	6 712	4 738

Tableau 4.7 Durées des activités des sites de construction

Durée des activités μ_{ij}						
	Activité 1	Activité 2	Activité 3	Activité 4	Activité 5	Activité 6
Site de construction 1	1	1	6	3	1	1
Site de construction 2	2	1	3	2	1	3
Site de construction 3	2	1	2	3	1	2
Site de construction 4	2	1	4	1	1	3

Tableau 4.8 Délais d'échéance des sites de construction

Délais d'échéance des sites de construction DD_i			
Site de construction 1	Site de construction 2	Site de construction 3	Site de construction 3
12	11	10	11

Tableau 4.9 Capacités de chaque site de construction

Capacité des matériaux sur les chantiers				
	m1	m2	m3	m4
Site de construction 1	100	100	100	64
Site de construction 1	100	100	100	32
Site de construction 1	100	100	100	20
Site de construction 1	100	100	100	25

4.2 Expérimentations et résultats

4.2.1 Implémentation et logiciel utilisé

Pour le développement du modèle mathématique, nous utilisons le solveur LINGO17. Notre ordinateur utilisé pour les expérimentations possède les caractéristiques suivantes : Windows 7 Enterprise 2009 (64 bits) comme système d'exploitation, Intel Core, i7-2600, 3.4 GHz comme processeur et 16 Go de RAM. Le modèle génère 1926 variables entières et 2131 contraintes. Le modèle est résolu en utilisant l'algorithme Branch and Bound en 24 secondes en moyenne.

4.2.2 Scénario de base : chaîne d'approvisionnement non synchronisée

Ce scénario vise à modéliser la chaîne d'approvisionnement traditionnelle dans l'industrie de la construction. On ne tient pas compte des remises accordées par les fournisseurs. Les entrepreneurs n'ont accès ni aux rabais ni à la possibilité de bénéficier de grandes quantités livrées sur le site de construction. On suppose que tous les matériaux achetés sont transportés directement sur le site de construction.

La première conséquence est la fermeture des centres de consolidation de la construction. La planification des différents sites n'est pas coordonnée et toutes les activités de construction démarrent en même temps, ce qui entraîne des livraisons inefficaces, des coûts logistiques supplémentaires et, probablement, des encombrements. En conséquence, on peut voir que la structure des coûts est déséquilibrée comme le présente la figure 4.1. À titre indicatif, le tableau 4.10 illustre également les valeurs numériques correspondantes. On remarque que l'approvisionnement en matériaux de construction et les coûts de transport représentent ensemble plus de 90 % des coûts totaux de la chaîne d'approvisionnement. Un peu plus de 19% sont dépensés pour le transport des matériaux. Les coûts restants représentent moins de 10 %.

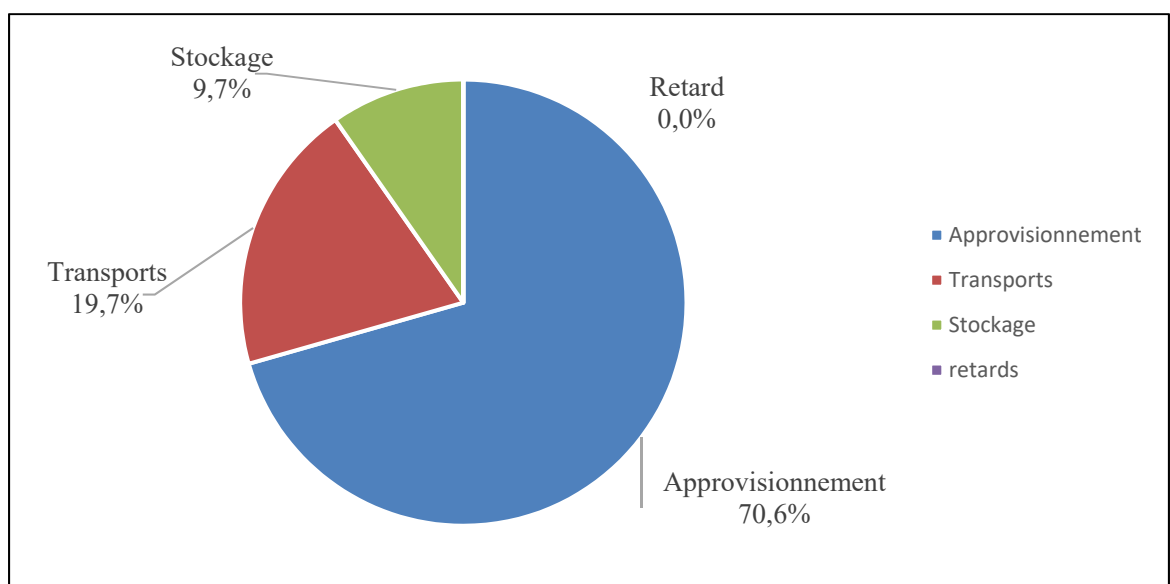


Figure 4.1 Répartition des coûts dans la chaîne d'approvisionnement de scénario de base

Tableau 4.10 Récapitulatif des coûts dans la chaîne d'approvisionnement de scénario de base

Approvisionnement	Stockage	Transports	Coût de retard
2 987 371,09 \$	411 529,92 \$	833 270,15 \$	0 \$
70,6 %	9,7 %	19,7 %	0,0 %

4.2.3 Scénario où les chaînes d'approvisionnement sont synchronisées

4.2.3.1 Structure des coûts

Comme prévu, les contractants ajustent leurs structures de coûts comme le montre le tableau 4.11. En fait, les pourcentages sont quelque peu différents en raison de l'apparition de coûts liés aux opérations du centre de consolidation et de coûts de retard, comme le montre la figure 4.2. Nous pouvons affirmer qu'il existe une coordination entre les différents projets de construction et que, par conséquent, les planifications initiales de chaque site individuel n'ont pas été respectées. Les coûts d'approvisionnement représentent la part la plus importante des coûts logistiques totaux et représentent plus de 65 % des coûts totaux de la chaîne d'approvisionnement. Une autre constatation qui peut être à l'origine de ces coûts est le fait que les entrepreneurs préfèrent acheter de grands lots et les stocker dans des centres de consolidation. Cela leur fait profiter de la remise accordée par les fournisseurs, ce qui se traduit par des coûts de stockage de plus de 13 %.

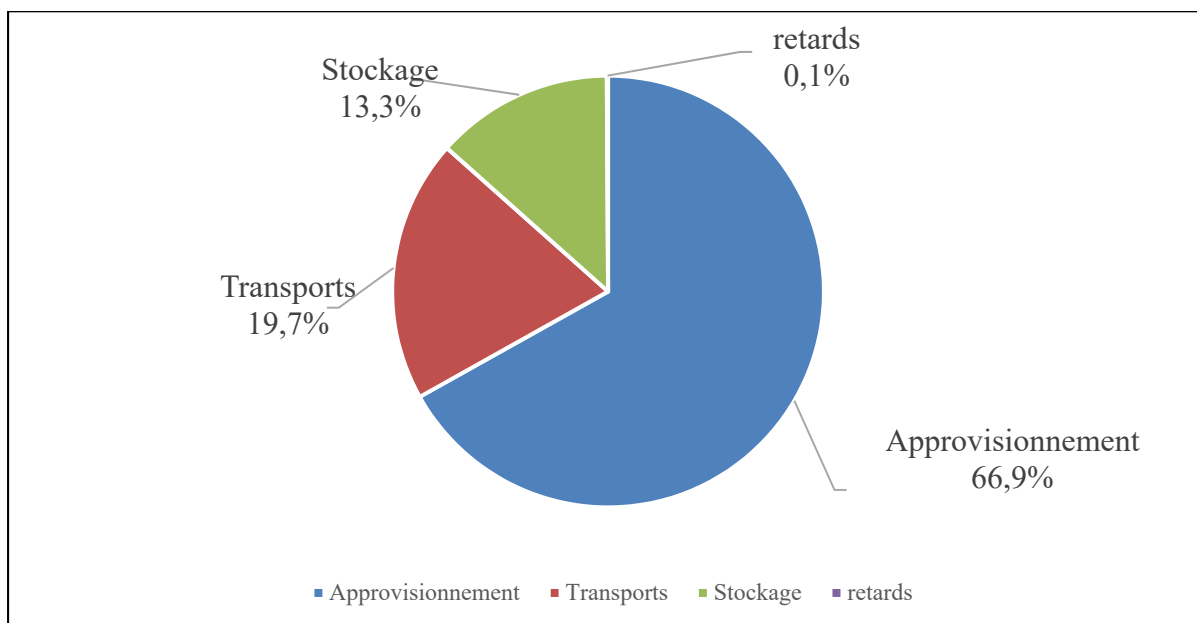


Figure 4.2 Répartitions des coûts dans la chaîne d’approvisionnement

Tableau 4.11 Récapitulatifs des coûts dans la chaîne d’approvisionnement de scénario de base

Approvisionnement	Stockage	Transports	Coût de retard
2 712 412,89 \$	540 689,77 \$	798 555,72 \$	3 600,00 \$
66,9 %	19,7 %	13,3 %	0,1 %

4.2.3.2 Flux de matériaux

Dans le tableau 4.12, nous agrégeons les livraisons directes à partir des fournisseurs, les livraisons réalisées par le CCC, la demande et le stock sur les sites de construction, tout au long de la période de planification pour les chantiers 1 et 3 pour les matériaux de construction appartenant à M^1 et M^2 . Nous pouvons constater que la majorité de la demande est satisfaite par le CCC pour m2 et m3, soit par exemple 18 531 unités livrées par le CCC contre 436 unités livrées directement par les fournisseurs pour m2 sur le chantier 1. Par ailleurs, sur l'ensemble des chantiers de construction, la figure 4.3 montre que respectivement 99 % et 98 % de la demande de m2 et de m3 ne sont pas livrés directement, tandis que 45 % de la demande totale de matériaux m4 est satisfait par des livraisons directes. Globalement, 82 % de la demande totale de M^1 est satisfaite par le centre de consolidation. On effet, 236 000 unités sont livrées par le CCC, comparé à 52 205 unités acheminées directement pour les trois matériaux étudiés pour tous les chantiers de construction. Nous pouvons affirmer qu'une fois le centre de consolidation est en service, la solution idéale est de l'utiliser pour la quasi-totalité des livraisons.

Tableau 4.12 Répartitions de flux de matière, demande et inventaire agrégé pour les sites de construction 1 et 3

Site de construction 1				
	m1	m2	m3	m4
Livraison directe	278	436	1 487	15 461
Livraison à travers les CCC	–	18 531	24 995	12 150
Demande	290	18 967	26 482	27 611
Inventaire sur site de construction	12	0	0	100
Site de construction 3				
Livraison directe	570	42	0	9 510
Livraison à travers les CCC	–	16 134	22 139	15 702
Demande	583	16 176	22 139	25 212
Inventaire sur site de construction	13	0	0	25

Nous pouvons également observer que le stock sur les sites de construction se situe à des niveaux moindres et n'atteint sa pleine capacité qu'à une seule période, comme le montrent le tableau 4.12 et l'ANNEXE I. En outre, comme le montre la figure 4.4, moins de 2 % des matériaux sont stockés sur les sites de construction. Comme attendu, il est plus rentable d'utiliser le centre de consolidation de la construction pour le stockage des matériaux, puis d'être rappelé lorsqu'ils sont requis pour les travaux de construction de manière JÀT. Les résultats détaillés des flux de matériaux et de l'inventaire sont présentés à l'ANNEXE I.

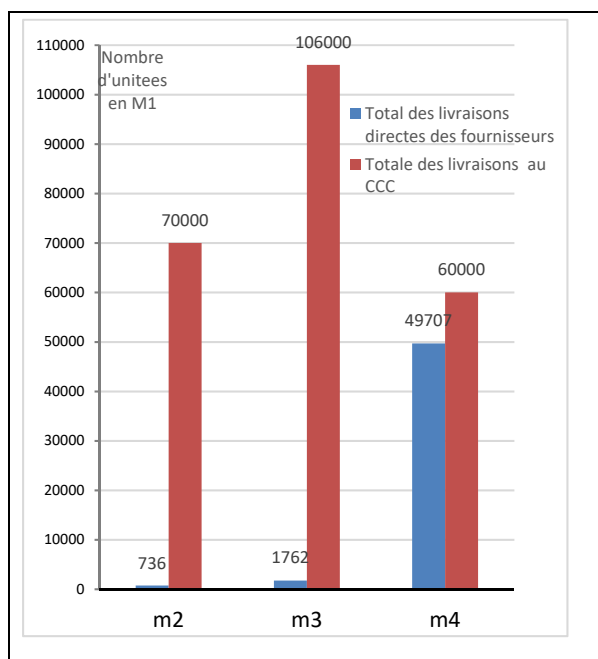


Figure 4.3 Répartitions des livraisons

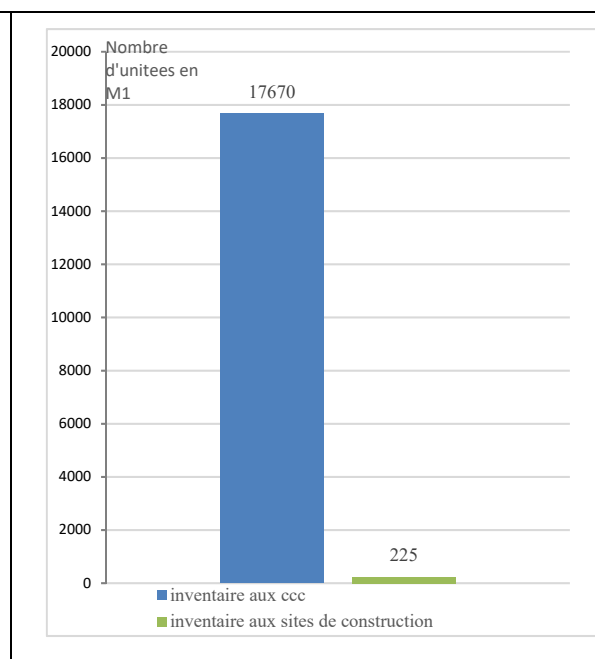


Figure 4.4 Répartitions d'inventaire

4.2.4 Comparaison de deux scénarios

Nous proposons une étude comparative entre les deux scénarios : la chaîne d'approvisionnement traditionnelle et de la chaîne d'approvisionnement intégrée. Cela nous aide à évaluer l'impact de l'utilisation du centre de consolidation de la construction sur la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de la construction. Nous étudions l'impact de l'utilisation

des centres de consolidation de la construction sur la structure des coûts, le flux de matériaux et les planifications de projets de construction.

4.2.4.1 Impact sur les coûts de la chaîne d'approvisionnement

La centralisation de la chaîne d'approvisionnement et l'intégration des activités sur site avec les activités logistiques de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement ont permis de réduire le coût total de 4,18 %. En fait, le coût de l'approvisionnement est passé de 2 987 371 \$ à 2 712 412,89 \$, ce qui représente une baisse de près de 274 959 \$; comme le montre le tableau 4.13. Nous pouvons également constater que l'utilisation du centre de consolidation peut générer des économies de transport. Cela peut s'expliquer par le fait que nous utilisons désormais une stratégie de coordination lors du transport des matériaux de construction des centres de consolidation vers les chantiers. Les résultats prouvent également que le transport de premier échelon en taille de lots est plus économique pour les entrepreneurs. Comme prévu, la coordination des activités d'approvisionnement entraîne une augmentation des coûts de stockage, avec une hausse de plus de 30 % par rapport au scénario de base. En outre, on peut constater que la coordination des activités logistiques mène à des retards dans les projets de construction, ce qui se traduit par l'apparition d'un coût de retard dans la structure des coûts logistiques dans le scénario d'intégration de la chaîne d'approvisionnement.

Tableau 4.13 Comparaisons entre les deux scénarios

	Scénario de base	Scénario d'intégration de CCC	Économies de coûts	Économies de coûts en pourcentage
Coût d'approvisionnement	2 987 371,09 \$	2 712 412,89 \$	274 958,20 \$	9,20 %
Coût de transport	833 270,15 \$	798 555,72 \$	34 714,43 \$	4,17 %
Coût d'entreposage	411 529,92 \$	540 689,77 \$	129 159,85 \$	-31,39 %
Coût de retard	0 \$	3 600,00 \$	3 600,00 \$	0,00 %
Coût total	4 232 171,17 \$	4 055 258,39 \$	176 912,78 \$	4,18 %

Nous avons désormais une meilleure idée des économies réalisées dans les coûts logistiques. D'une part, il y a eu une économie globale de 4,18 % du poids total des coûts. Le scénario d'intégration présenté ci-dessus semble avantageux dans ces conditions, mais quel est l'impact de cette stratégie sur la planification des projets et les flux de matériaux ?

Dans la section suivante, nous proposons une analyse de l'impact de l'utilisation des centres de consolidation sur certaines variables logistiques.

4.2.4.2 Comparaison des flux de matériaux

Afin de comparer l'impact de l'intégration de la chaîne d'approvisionnement sur le flux de matériaux, nous avons choisi deux chantiers, le premier est le chantier 1 où il n'y a pas de retard, et le second est le chantier 3 où il y a des délais dans les travaux de planification. Nous avons également pris comme référence les matériaux m2 qui sont en grande partie livrés par le CCC. On notera que le flux entrant de m2 à chaque site de construction est la somme du flux direct et des livraisons du centre de consolidation de la construction. Le tableau 4.14 et le tableau 4.15 présentent plus de détails sur cette étude.

Tableau 4.14 Plans de demande et d'approvisionnement pour site de construction 1, matériel m2

Période	Scénario de base		Scénario de coordination des projets	
	Demande	Plan d'approvisionnement	Demande	Plan d'approvisionnement
1	7 050	7 050	7 050	7 050
2	1 721	1 721	1 721	1 721
3	1 707	1 707	1 707	1 707
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0

Tableau 4.14 Plans de demande et d'approvisionnement pour site de construction 1, matériel m2 (suite)

Période	Scénario de base		Scénario de coordination des projets	
	Demande	Plan d'approvisionnement	Demande	Plan d'approvisionnement
9	5 626	5 626	2 115	2 115
10	0	0	3 511	3 511
11	0	0	0	0
12	2 863	2 863	2 863	2 863
13	0	0	0	0

Cependant, le flux de matériaux et la demande par période ne sont pas identiques dans les deux scénarios. Dans le scénario initial, la demande de m2 est envoyée en une seule livraison non optimisée au cours de la période 9 avec 5226 unités de m2, alors que dans le scénario intégré, la demande est divisée en des livraisons coordonnées avec les livraisons des autres sites de construction ; plus précisément, 2 115 unités sont envoyées au cours de la période 9 et le reste de la demande au cours de la période suivante. Dans le chantier de construction 3, la consolidation du flux de matériaux génère un retard de deux périodes. Il est certain que la coordination du flux de matériaux peut entraîner des retards des certains projets.

Tableau 4.15 Plans de demande et d'approvisionnement pour site de construction 3, matériel m2

Période	Scénario de base		Scénario de coordination de projet	
	Demande	Plan d'approvisionnement	Demande	Plan d'approvisionnement
1	3 441	3 441	0	0
2	0	0	0	0
3	3 413	3 413	3 441	3 441
4	1 382	1 382	0	0
5	0	0	3 413	3 413
6	3 159	3 159	1 382	1 382
7	0	0	0	0
8	3 173	3 173	3 159	3 159
9	1 608	1 608	0	0

Tableau 4.15 Plans de demande et d’approvisionnement pour site de construction 3, matériel m2 (suite)

Période	Scénario de base		Scénario de coordination de projet	
	Demande	Plan d'approvisionnement	Demande	Plan d'approvisionnement
10	0	0	3 173	3 173
11	0	0	1 608	1 608
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0

4.2.4.3 Comparaison de planification des activités

Dans le premier scénario : scénario de base, représenté dans la figure 4.5 et la figure 4.6, les planifications des différents chantiers non coordonnées. Toutes les activités de construction commencent en même temps, ce qui peut entraîner des opérations de livraison peu efficaces.

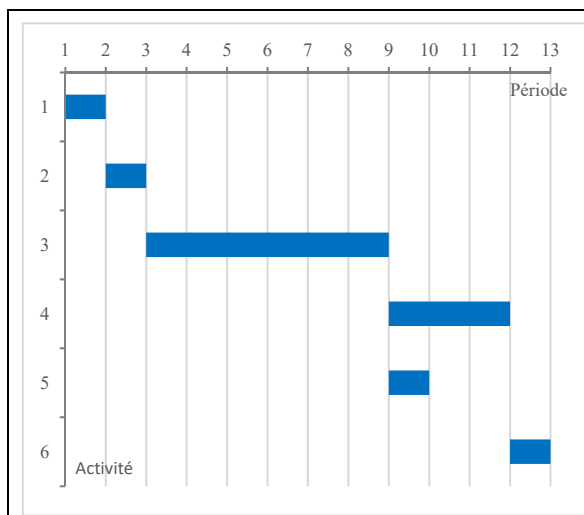


Figure 4.5 Gantt chart -site de construction 1 scénario de base

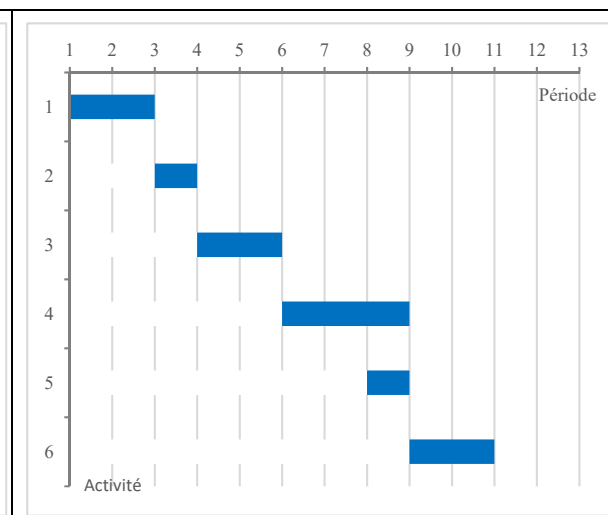


Figure 4.6 Gantt chart – site de construction 3 scénario de base

Cependant, dans le deuxième scénario : scénario de coordination des projets, représentée dans les figure 4.7 et figure 4.8, on peut voir l’impact de la stratégie consolidation. On peut constater à partir de la figure 4.7 que même s’il n’y a pas de retard sur le chantier 1, il est plus avantageux de retarder l’activité 5, qui n’appartient pas au chemin critique, à la période 10 au lieu de la période 9 sans entraîner des retards sur le chantier 1. En revanche, à partir de figure 4.8, on

observe que le fait que la première activité ne soit pas lancée à la période 1 provoque un effet domino pour les autres activités sur le chantier 3.

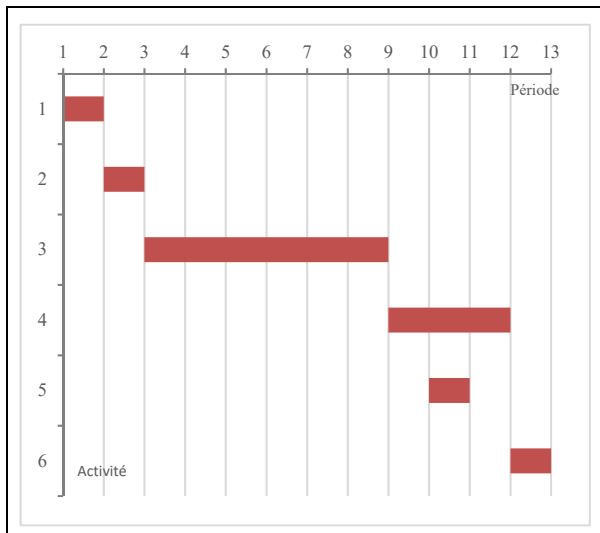


Figure 4.7 Gantt chart – site de construction
1 scénario avec collaboration

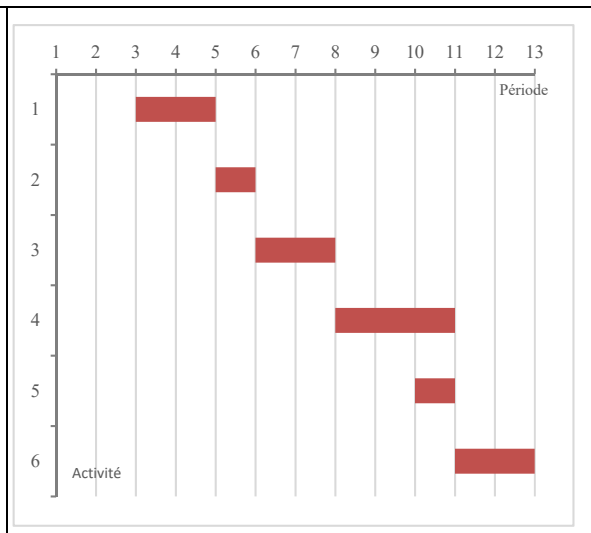


Figure 4.8 Gantt chart – site de construction
3 scénario avec collaboration

4.2.5 Analyse de sensibilité

La solution étudiée suppose que tous les paramètres et les coûts sont connus avec précision, alors que ces paramètres ne peuvent être estimés que dans des conditions réelles. L'analyse de sensibilité est un outil précieux pour l'évaluation des résultats obtenus à partir du modèle d'optimisation, car elle permet d'identifier les variables clés qui ont une influence déterminante sur le coût et les paramètres logistiques étudiés. Nous insistons sur le fait que nous n'étudions que l'impact d'un seul paramètre, alors que les autres restent inchangés.

Ainsi, dans la section suivante, nous étudions l'impact de certains paramètres sur la qualité des résultats de notre recherche. Ainsi, nous modifions certaines des hypothèses initiales afin de voir l'impact de ces changements et de juger de la stabilité des résultats. Les détails de ces instances générées sont décrits à l'ANNEXE II. Dans cette analyse, nous proposons trois scénarios principaux afin d'étudier plus en détail les incidences de la collaboration sur le succès de la solution logistique proposée.

4.2.5.1 Étude de la relation fournisseur-contractant : impact du rabais

Nous modifions le rabais offert sur les achats de grandes quantités de lots. Ainsi, nous plaçons ce paramètre dans une plage de 0 à 24 % de rabais appliqués sur les prix offerts par les fournisseurs dans le scénario de base. La figure 4.9 présente le nombre total d'unités du type de M¹ livrées directement et les quantités livrées par le centre de consolidation aux quatre sites de construction, pour l'ensemble de la période de planification par apport aux demandes totales. Nous pouvons nettement voir que l'escompte offert par les fournisseurs influence la décision de méthode de livraison des matériaux de construction. En fait, nous pouvons observer un tournant à partir de laquelle, les livraisons de matériaux de construction sont désormais effectuées par le centre de consolidation de la construction, cette valeur correspond à 8 % dans notre étude. Comme le révèle également notre analyse précédente, une fois que le centre de consolidation est en activité, il est plus judicieux de l'utiliser pour répondre à la majorité des demandes des chantiers de construction et pour effectuer la majorité des opérations logistiques.

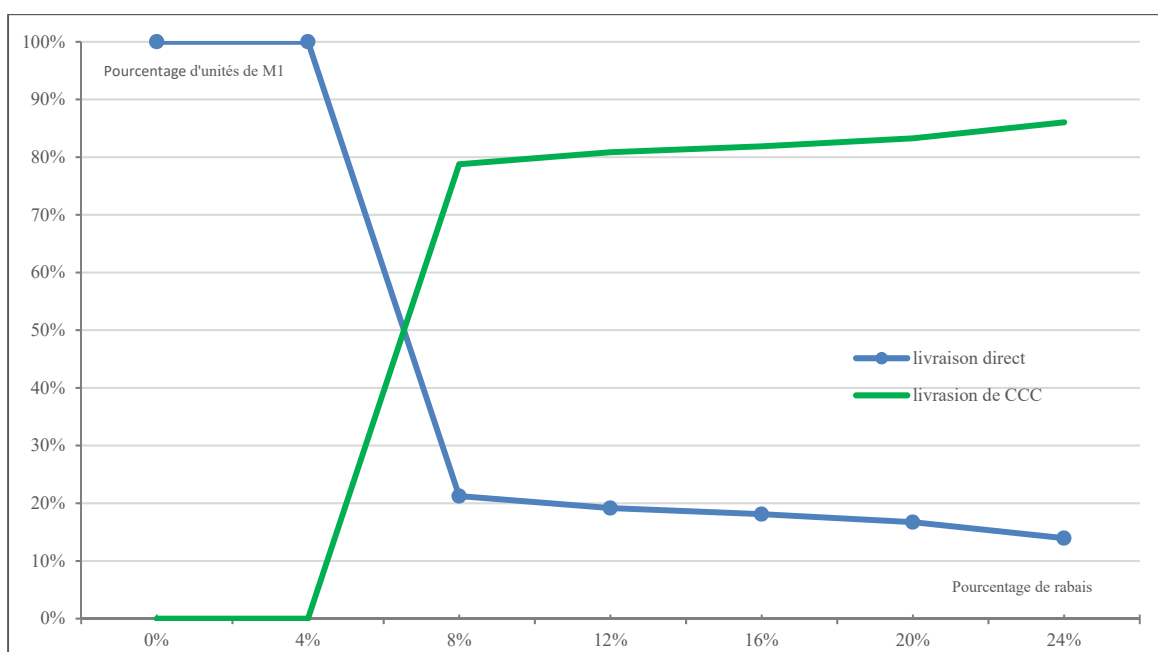


Figure 4.9 Impacts du rabais offert par les fournisseurs sur la méthode d'approvisionnement

4.2.5.2 Étude de la réglementation des villes : impact du coût du transport direct

Nous souhaitons étudier le rôle de gouvernance que les autorités peuvent jouer dans les opérations logistiques de la ville du point de vue de l'entrepreneur général. Nous supposons donc que la ville impose des frais additionnels sur les livraisons directes DC_{ms} . La figure 4.10 représente le résultat de la mode de livraison à la lumière de la hausse des coûts de transport directs. De même, on étudie le nombre total d'unités du type de M^1 livrées directement et les quantités livrées par le centre de consolidation aux quatre sites de construction, pour l'ensemble de la période de planification par rapport aux demandes totales. Nous examinons donc le pourcentage d'unités livrées via le CCC ou directement par les fournisseurs sur tout l'horizon de planification. Une description approfondie des instances utilisées pour ce scénario est fournie dans l'ANNEXE II. À partir de la figure 4.10 nous constatons que la solution optimale est très dépendante des coûts de transport directs. En outre, à mesure que nous augmentons le coût de transport direct afin d'atteindre le scénario 7, nous pouvons observer un tournant. On commence à satisfaire la demande totale des chantiers à partir des CCC.

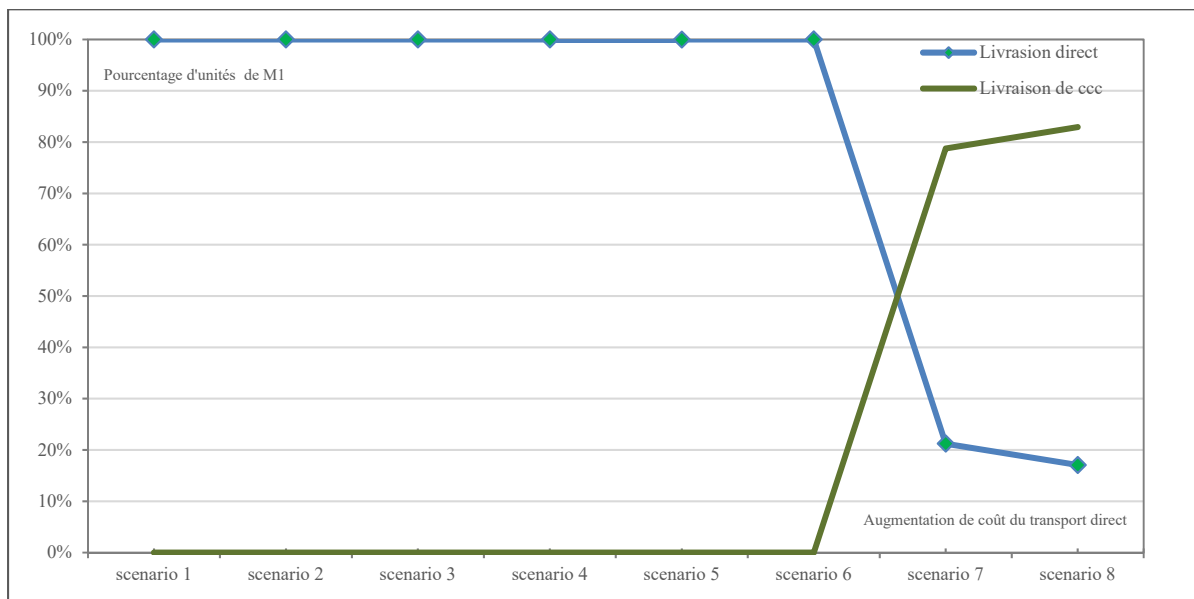


Figure 4.10 Impacts du coût de transport direct sur la mode de livraison

4.2.5.3 Étude de l'intégration du contractant : impact du coût de la pénalité

Nous voulons étudier l'impact du coût du retard sur la mode de livraison des matériaux de construction. Nous avons supposé que chaque fois qu'un retard se produit, le contractant doit accepter de payer un coût de retard. Ainsi, nous augmentons ce coût pour atteindre 7 200 \$. Indépendamment des augmentations, comme le montre la figure 4.11 l'entrepreneur général utilise toujours le centre de consolidation de la construction, et cela n'a pas une influence majeure sur la méthode de livraison. Cela peut s'expliquer par le fait que même si les coûts liés au retard sont élevés l'entrepreneur général accepte de payer ces coûts et de recourir au CCC, car il est plus avantageux de retarder les projets et de continuer à utiliser le centre de consolidation de la construction.

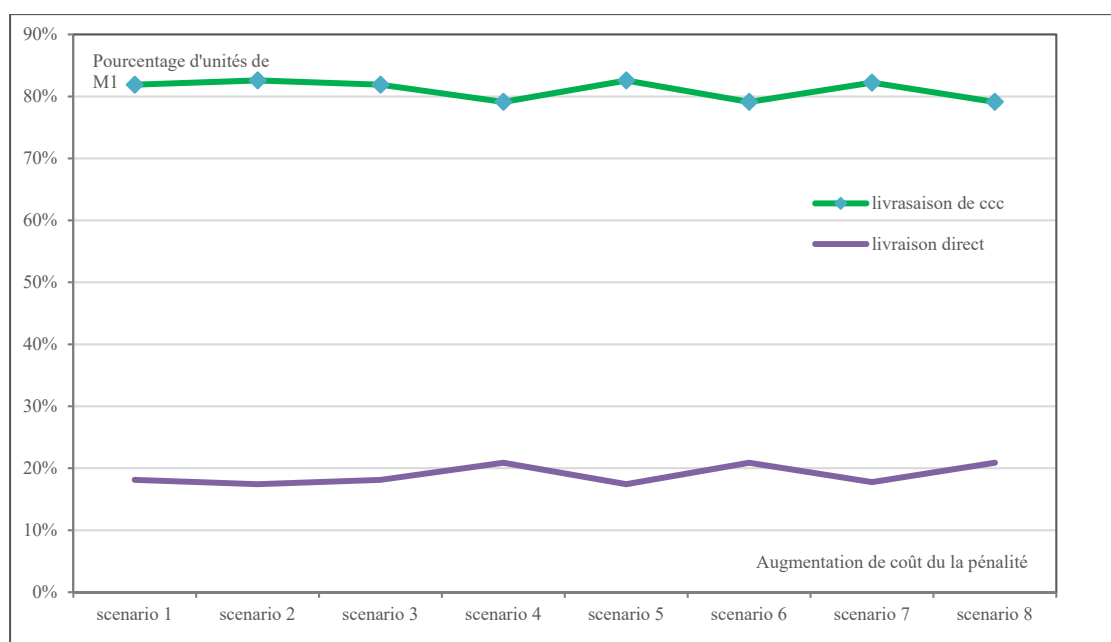


Figure 4.11 Impacts du coût du retard sur la méthode d'approvisionnement

4.3 Discussions

Dans ce chapitre, nous avons d'abord étudié la situation de la chaîne d'approvisionnement de la construction en milieu urbain avant d'étudier l'impact de l'intégration de la chaîne

d'approvisionnement. Nous avons ensuite évalué l'impact de la coordination de différents projets de construction par l'utilisation de centres de consolidation de la construction pour réduire l'impact négatif des livraisons non organisées et des livraisons directes. Nous avons d'abord mis en évidence l'impact du nouveau scénario sur la structure des coûts, puisque nous avons pu réduire le coût global de 4,18 %. La réduction des coûts provient de la diminution des coûts d'achat et de transport, car avec ce nouveau plan, nous achetons par lots et livrons les matériaux nécessaires de manière organisée avec d'autres projets de construction. D'autre part, cela se traduit par une augmentation des coûts de stockage et des retards dans les projets. De plus, nous avons pu cibler l'aspect de coordination de notre étude en comparant la planification des activités dans les deux scénarios et la planification d'approvisionnement.

Par la suite, nous avons effectué une analyse de sensibilité sur le prix d'achat proposé par le fournisseur pour les lots de grande taille. Grâce à cette analyse, nous avons pu confirmer que la réduction de prix offerte joue un rôle clé dans notre étude en indiquant dans quelle mesure ce facteur intervient pour inverser la tendance du scénario de base à l'étude intégrée. En outre, nous avons pu confirmer que le coût direct du transport joue un rôle clé dans cette étude. Du point de vue de l'entrepreneur général, le succès de l'initiative de CCC entraînerait des retards dans la planification du projet en cas de dépassement de la capacité, mais aussi une réduction des coûts. L'implication de l'entrepreneur en construction nécessiterait que les parties impliquées présentent également des réductions de coûts de la part du fournisseur et que les autorités présentent des réglementations sur les grandes quantités entrant dans la zone urbaine de manière à réduire l'impact négatif de ces opérations et à encourager l'utilisation du CCC. Cela renforce encore le fait que la collaboration dans la chaîne d'approvisionnement de la construction est cruciale au bénéfice des acteurs de la chaîne d'approvisionnement ce qui est en accord avec les constatations de la revue de littérature.

CONCLUSION

Le secteur de la construction a été décrit comme complexe et fragmenté dans de nombreuses études de recherche. Actuellement, les livraisons de matériaux sur les chantiers de construction souffrent d'une faible efficacité et de coûts logistiques élevés. Au niveau collectif, cette situation peut être amplifiée, notamment lorsque les activités logistiques ont des restrictions de temps, d'espace et de budget. Le but de ce mémoire est d'étudier les modalités d'utilisation d'un centre de consolidation de la construction comme solution logistique pour coordonner les flux de matériaux, et assurer une construction efficace et réduire les perturbations sur le système de transport urbain. Comme nous l'avons vu au chapitre 2, les études dans ce domaine de recherche sont limitées.

Nous avons présenté le résultat du développement d'un modèle d'optimisation MILP pour la logistique de construction congestionnée. Nous avons d'abord examiné la chaîne d'approvisionnement traditionnelle de la construction dans les zones urbaines, puis nous avons présenté notre nouvelle conception de la chaîne d'approvisionnement de la construction dans les zones urbaines en ajoutant des centres de consolidation de la construction. À cet égard, nous générons la décision optimale de sélection des fournisseurs, l'allocation optimale des CCC, les niveaux de stock optimaux dans les CCC ainsi que sur le site de construction, et la planification optimale des activités de construction. Nous avons généré les plans logistiques optimaux qui minimisent le coût logistique total tout en minimisant les impacts négatifs de la congestion dans les zones urbaines en réduisant le flux direct de matériaux et en détournant plutôt le flux vers le centre de consolidation de la construction pour des opérations logistiques mieux coordonnées. Cela garantit un flux plus faible vers la zone urbaine. Le lecteur doit être conscient que nous optimisons la logistique de la construction du point de vue du destinataire, mais que nous parvenons à inclure les parties prenantes impliquées dans nos modèles. Nous avons pu étudier l'impact des parties impliquées sur la solution logistique proposée. Nous avons proposé trois scénarios différents et nous avons sélectionné des paramètres liés au coût du transport, au facteur d'actualisation et aux pénalités pour les retards dans le projet. Les

résultats suggèrent que le succès du centre de consolidation de la construction est fortement corrélé avec l'implication des parties prenantes et la validité de la proposition de valeur dans le modèle commercial proposé.

La première constatation clé de notre recherche est la confirmation que les centres de consolidation de la construction sont efficaces dans la coordination de la logistique de la construction en zone urbaine. La solution logistique proposée peut minimiser l'impact négatif des livraisons massives de matériaux entrant dans la zone urbaine. La deuxième trouvaille de nos études est que les centres de consolidation de la construction peuvent optimiser la chaîne d'approvisionnement de la construction. Une autre contribution de nos recherches est d'affirmer quantitativement que la collaboration est une véritable clé du succès du centre de consolidation de la construction. Il est essentiel d'adapter l'attitude à un environnement plus favorable à l'ouverture et à la collaboration et de créer un sentiment d'appartenance. Le succès de l'initiative du centre de consolidation de la construction dépend fortement de l'implication des parties prenantes. L'intégration de la chaîne d'approvisionnement de la construction est non seulement bénéfique pour l'entrepreneur général, mais aussi pour les autres parties prenantes, car elle implique une nouvelle relation inter organisationnelle, où la communication et la collaboration sont importantes. Les entrepreneurs généraux doivent coopérer en reconnaissant qu'il s'agit d'un compromis temps-coût, et que cela pourrait donc entraîner des retards dans les projets au profit de l'ensemble des membres de la chaîne d'approvisionnement de la construction. En outre, une solution logistique de construction doit s'accompagner d'un ensemble de règlements et d'une stratégie de gouvernance pour que l'entrepreneur général l'accepte comme une nouvelle reconfiguration de sa chaîne d'approvisionnement et renonce au contrôle des opérations logistiques en matière de planification des livraisons et des activités.

L'emploi d'une solution logistique est encore un nouveau phénomène dans l'industrie de la construction. Ainsi, le modèle proposé peut rencontrer certaines limites. Dans notre recherche, nous ne visons pas à optimiser l'emplacement optimal du CCC en termes de distance, mais il s'agit plutôt d'une question de disponibilité d'une installation. De plus, nous optimisons le modèle d'aide à décision du point de vue des destinataires : les entrepreneurs généraux. Un

modèle d'optimisation multi objective peut être développé pour des recherches ultérieures afin de promouvoir l'utilisation des CCC par les acteurs impliqués. De plus, les données utilisées dans cette expérimentation sont réalistes, mais nos résultats seraient mieux validés s'ils étaient basés sur une étude de cas réelle.

Pour les travaux futurs, nous proposons une étude de simulation qui inclut un nombre plus grand de projets et fournisseurs pour valider davantage la praticabilité du centre de consolidation dans le secteur de la construction sur la base d'études de cas. Comme nous l'avons vu à partir de cas réels étudiés dans la revue de la littérature, la chaîne d'approvisionnement de la construction est formée de nombreux intervenants atteignant des centaines de fournisseurs. Le grand nombre de variables dépasse le potentiel des solveurs comme Lingo et Cplex, nous suggérons l'utilisation d'une méthode de résolution et le développement d'une heuristique afin de résoudre le problème. Cependant, nous avons tenté d'utiliser lors de nos expérimentations un maximum de données réelles. De notre point de vue, ce travail de recherche est un bon point de départ pour commencer le développement d'une étude de cas réel avec le financement des autorités comme nous l'avons vu dans d'autres villes, en tenant compte du fait que Montréal est une ville renommée pour ses projets de construction et de rénovation en continu. Nous proposons également le développement d'un système d'indicateurs clés de performance (KPI) pour mesurer directement l'impact du secteur de la consolidation urbaine sur la réduction de l'impact négatif des grands matériaux de construction entrant dans la zone urbaine sans coordination telle que la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cela encouragerait davantage la participation des autorités et encouragerait donc l'entrepreneur de construction à renoncer à son contrôle et à participer également à l'initiative.

ANNEXE I

VALEURS DE VARIABLES DE DÉCISIONS

Tableau-A I-1 Nombre de livraisons a_{skmt}

s	k	m	t												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	2	9	13	8	3	7	1	3	5	5	12	2	2	0
		3	6	3	7	5	5	2	3	4	8	7	1	2	0
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		4	3	2	1	6	4	2	2	5	2	0	2	1	0

Tableau-A I-2 Quantités transportées du centre de consolidation de la construction au chantier de construction y_{kimt}

k	i	m	t												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	2	7050	1721	1699	0	0	0	0	0	2115	3511	0	2435	0
		3	5979	2228	2792	0	0	0	0	0	5700	2296	0	6000	0
		4	3001	2683	0	0	0	0	0	100	3200	0	0	3166	0
	2	2	1721	0	3229	1396	0	0	3000	1382	0	2017	0	0	0
		3	4964	0	5584	4773	0	0	6797	2877	0	2708	0	0	0
		4	2285	0	0	4371	0	0	4456	5584	0	0	0	0	0
	3	2	0	0	3441	0	3413	1340	0	3159	0	3173	1608	0	0
		3	0	0	5612	0	3018	2538	0	5302	0	3779	1890	0	0
		4	0	0	2000	25	2255	4146	0	3666	0	0	3610	0	0
	4	2	0	11139	0	1340	3511	0	0	0	3145	3455	0	0	0
		3	0	4710	0	5358	6768	0	0	0	10266	4061	0	0	0
		4	0	2031	0	6712	6035	0	0	100	574	0	0	0	0

Tableau-A I-3 Livraisons directes des fournisseurs au chantier X_{simt} (suite)

S	i	m	t												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	2	4	1370	53	6825	0	0	0	0	0	0	6825	0	388	0
		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	4653	0	0	0	0	0	0	4061	0	0	0
	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	2766	0	1809	0	0	0	0	4935	0	0	0
	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	11284	4738	0	0	0

Tableau-A I-4 Inventaire sur site Ib_{imt}

i	m	t												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0

Tableau-A I-8 Dates début de chaque activité φ_{ijt} (suite)

i	j	t												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	

Tableau-A I-9 Dates de fin de chaque activité ϑ_{ijt}

i	j	t												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	

ANNEXE II
ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Tableau-A II-1 Scénario 1 scénario d'escompte (en \$)

s4							
	0 %	4 %	8 %	12 %	16 %	20 %	24 %
m2	9.6	9.216	8.832	8.448	8.064	7.68	7.296
m3	9.792	9.40032	9.00864	8.61696	8.22528	7.8336	7.44192
m4	0.213624	0.205079	0.196534	0.187989	0.179444	0.170899	0.162354
s5							
m2	11.52	11.0592	10.5984	10.1376	9.6768	9.216	8.7552
m3	12.73	12.22042	11.71123	11.20205	10.69286	10.18368	9.674496
m4	0.19	0.177735	0.17033	0.162924	0.155518	0.148113	0.140707
s6							
m2	12.48	11.9808	11.4816	10.9824	10.4832	9.984	9.4848
m3	12.24	11.7504	11.2608	10.7712	10.2816	9.792	9.3024
m4	0.14	0.136719	0.131023	0.125326	0.119629	0.113933	0.108236

Tableau-A II-2 Scénario 2 : scénario de variation de coût de transport direct

scénario 1	scénario 2	scénario 3	scénario 4	scénario 5	scénario 6	scénario 7	scénario 8
1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.4	1.45

Tableau-A II-3 Valeurs de scénario de variation
de coût de transport direct (en \$)

1.15			
	s4	s5	s6
m2	2.863872	2.5344	2.760323657
m3	2.41059456	2.56569984	3.2636736
m4	0.041776554	0.028125847	0.037748215
1.2			
m2	2.9832	2.64	2.875337143
m3	2.511036	2.672604	3.39966
m4	0.043517243	0.029297758	0.039321058

Tableau-A II-3 Valeurs de scénario de variation
de coût de transport direct (en \$) (suite)

1.3			
	s4	s5	s6
m2	3.102528	2.7456	2.990350629
m3	2.61147744	2.77950816	3.5356464
m4	0.045257933	0.030469668	0.0408939
1.35			
	s4	s5	s6
m2	3.221856	2.8512	3.105364114
m3	2.71191888	2.88641232	3.6716328
m4	0.046998623	0.031641578	0.042466742
1.4			
	s4	s5	s6
m2	3.341184	2.9568	3.2203776
m3	2.81236032	2.99331648	3.8076192
m4	0.048739313	0.032813489	0.044039585
1.45			
	s4	s5	s6
m2	3.8065632	3.36864	3.668930194
m3	3.204081936	3.410242704	4.33796616
m4	0.055528002	0.037383939	0.050173669

BIBLIOGRAPHIE

- Agdas, D., Warne, D. J., Osio-Norgaard, J., & Masters, F. J. (2018). Utility of Genetic Algorithms for Solving Large-Scale Construction Time-Cost Trade-Off Problems.
- Akintoye, A., McIntosh, G., & Fitzgerald, E. (2000). A survey of supply chain collaboration and management in the UK construction industry. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 159-168.
- Allen, J., Browne, M., Woodburn, A., & Leonardi, J. (2012). The Role of Urban Consolidation Centres in Sustainable Freight Transport. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 37-41.
- Anderson, S., Allen, J., & Browne, M. (2005). Urban logistics—how can it meet policy makers sustainability objectives? *Transport Studies Group*, 71-81.
- Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management*, 349-357.
- Barratt, M. (2013). Understanding the meaning of collaboration in the supply chain. *Journal of Supply Chain Management*, 30-42.
- Beheraa, P., Mohanty, R., & Prakash, A. (2015). Understanding Construction Supply Chain Management. *Management, Production Planning & Control: The Management of Operations*.
- Beheraa, P., Mohanty, R., & Prakash, A. (2015). Understanding Construction Supply Chain Management. *Management, Production Planning & Control: The Management of Operations*.

- Bohne, S., Ruesch, M., & Leonardi, J. (2015). *Best practice factory for freight transport: BESTFACT, deliverable 2.4*. European Commission.
- Boudoin, D., Morel, C., & Gardat, M. (2013). Supply Chains and Urban Logistics Platforms. dans J. Gonzalez-Feliu, *Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems* (pp. 1-20). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bresnen, M., & Marshall, N. (2000). Partnering in construction: a critical review of issues, problems and dilemmas. *Construction Management & Economics*, 229-237.
- Brettmo, A., & Browne, M. (2019). Business Improvement Districts as important influencers for changing to sustainable urban freight. *Cities*, 1-10.
- Browne, M., Allen, J., & Leonardi, J. (2011). Evaluating the use of an urban consolidation centre and electric vehicles in central London. *IATSS Research*, 1-6.
- Bryson, J. M. (2007). What to do when Stakeholders matter. *Public Management Review*, 21-53.
- C.Huang, Wong, C., & Tam, C. M. (2010). Optimization of material hoisting operations and storage locations in multi-storey building construction by mixed-integer programming. *Automation in Construction*, 656-663.
- Campbell, J., MacPhail, L., & Cornelis, G. (2010). *Freight Consolidation Centre Study Final Report*. Scott Wilson Ltd.
- Cardenas, I., Borbon-Galvez, Y., Verlinden, T., Voorde, E. V., Vanelslander, T., & Dewulf, W. (2017). City logistics, urban goods distribution and last mile delivery and collection. *sage*, 22-43.

- Castro-Lacouture, D., Medaglia, A., & Skibniewski, M. (2007). Supply chain optimization tool for purchasing decisions in B2B construction marketplaces. *Automation in Construction*, 569-575.
- Chen, W., Lei, L., Wang, Z., Teng, M., & Liu, J. (2018). Coordinating supplier selection and project scheduling in resource-constrained construction supply chains. *International Journal of Production Research*, 6512-6526.
- CIVIC project. (2018). *Smart construction logistics*.
- Civic-project.eu. (2018). *Smart construction logistics*. Gothenburg, Sweden .
- CIVITAS . (2020). *Smart choices for cities Making urban freight logistics more sustainable*.
- Colin, D., Guerlain, C., Renault, S., Schwartz, T., & Herbi, A. (2017). Analysing the congestion impact of deliveries schedule observation in urban construction sites. *International Conference on Project and Logistics*. La Rochelle, France.
- Construction Industry Institute CII. (1991). *Excellence, In Search of Partnering*. Texas: The University of Texas at Austin.
- CSCMP. (2020). *CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary*. Récupéré sur https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921
- Dainty, A. R., Briscoe, G. H., & Millett, S. J. (2010). Subcontractor perspectives on supply chain alliances. *Construction Management and Economics*, 841–848.

- Dawood, N., & Sriprasert, E. (2006). Construction scheduling using multi-constraint and genetic algorithms approach. *Construction Management and Economics*, 19-30.
- Dell'Amico, M., & Novellani, S. (2017). A two-echelon facility location problem with stochastic demands for Urban Construction Logistics An application within the SUCCESS project. *IEEE international conference on service operations and logistics, and informatics*, (pp. 90-95). Bari, Italy.
- Deng, Y., Gan, V. J., Das, M., & Cheng, J. C. (2019). Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Deng, Y., Gan, V. J., Das, M., Cheng, J. C., & Anumba, C. (2019). Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Duina, J. v., Dam, T. V., Wiegmans, B., & Tavasszy, L. (2016). Understanding Financial Viability of Urban Consolidation Centres:Regent Street (London), Bristol/Bath & Nijmegen. *The 2nd International Green Cities Conference on City Logistics*, (pp. 61-80). Szczecin ,Poland: Transportation Research Procedia.
- Duzgun Agdas, D. J.-N. (2018). Utility of Genetic Algorithms for Solving Large-Scale Construction Time-Cost Trade-Off Problems. *Journal of Computing in Civil Engineering*.
- Ekerlund, S., & Stuhmann, E. (2003). *Environmental gains in connection with Hammarby Sjöstad Logistics*. Stockholm City,Sweeden: und University of Technology.
- Ekeskär, A., & Rudberg, M. (2016). Third-party logistics in construction: the case of a large hospital project . *Construction Management and Economics*, 174-191.

- Enshassi, A., Kumaraswamy, M., & Al-Najjar, J. (2010). Significant factors causing time and cost overruns in construction projects in the Gaza strip: contractors' perspective. *The International Journal of Construction Management*, 35-60.
- Fang, Y., & Ng, S. T. (2011). Applying activity-based costing approach for construction logistics cost analysis. *Construction Innovation*, 259-281.
- Fang, Y., & Ng, S. T. (2019). Genetic algorithm for determining the construction logistics of precast components. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2290-2306.
- Fei, W., & Shilei, W. (2010). Applying logistics to construction material purchasing and Supplier evaluation. *2010 International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization* (pp. 90-92). Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society.
- Feng, C., Ma, Y., Zhou, G., & Ni, T. (2018). Stackelberg game optimization for integrated production-distribution-construction system in construction supply chain. *Knowledge-Based Systems*, 52-67.
- Feng, C., Ma, Y., Zhou, G., & Ni, T. (2018). Stackelberg game optimization for integrated production-distribution-construction system in construction supply chain. *Knowledge-Based Systems*, 52-67.
- Fernie, S., & Tennant, S. (2013). The non-adoption of supply chain management. *Construction Management and Economics*, 1038-1058.
- Francesco Russo, A. C. (2012). City characteristics and urban goods movements: A way to environmental transportation system in a sustainable city. *The Seventh International Conference on City Logistics* (pp. 61-73). Procedia - Social and Behavioral Sciences.

- Frimpong, Y., Oluwoye, J., & Crawford, L. (2003). Causes of delay and cost overruns in construction of groundwater projects in a developing countries; Ghana as a case study. *International Journal of Project Management* , 321-326.
- Garcia-Nieves, J. D., J. L. Ponz-Tienda, & A. Salcedo-Bernal. (2018). The Multimode Resource-Constrained Project Scheduling Problem for Repetitive Activities in Construction Projects. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 655-671.
- Gassel, F. v., Láscaris-Comneno, T., & Maas, G. (2014). The conditions for successful automated collaboration in construction. *Automation in Construction*, 85-92.
- Golpîra, H. (2020). Optimal integration of the facility location problem into the multi-project multi-supplier multi-resource Construction Supply Chain network design under the vendor managed inventory strategy. *Expert Systems With Applications*.
- Gouvernement du Québec, ministère des Transports. (2019). *transports.gouv.qc*. Récupéré sur road-freight-intervention-framework:
<https://www.transports.gouv.qc.ca/en/Documents/road-freight-intervention-framework.pdf>
- Gouvernement du Québec, Institut de la statistique du Québec. (2019). *Perspectives démographiques du Québec et des régions, 2016-2066*. Québec: Institut de la statistique du Québec.
- Guerlain, C., Renault, S., & Ferrero, F. (2019). Understanding Construction Logistics in Urban Areas and Lowering Its Environmental Impact: A Focus on Construction Consolidation Centres. *Sustainability*.

- Guerlain, C., Renault, S., & Ferrero, F. (2019). Understanding Construction Logistics in Urban Areas and Lowering Its Environmental Impact: A Focus on Construction Consolidation Centres. *sustainability*.
- Guerlain, C., Renault, S., & Ferrero, F. (2019). Understanding Construction Logistics in Urban Areas and Lowering Its Environmental Impact: A Focus on Construction Consolidation Centres. *Suatainability*.
- Guffond, J.-L., & Leconte, G. (2010). Developing construction logistics management: the French experience. *Construction Management and Economics*, 679–687.
- Gupta, A., & Maranas, C. (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. *Computers & Chemical Engineering*, 1884-2020.
- Hadaya, P. (2010). Determinants of construction companies' use of web-based interorganizational information systems. *Supply Chain Management: An International Journal*, 371-384.
- Hamzeh, F. R., Tommelein, I. D., Ballard, G., & Kaminsky, P. M. (2007). Logistic centers to support project-based production in the construction industry . *15 Th International Group for Lean Construction*, (pp. 181-191). Michigan, USA.
- Harker, A., Allcorn, W., & Taylor, D. (2007). *Material Logistics Plan Good Practice Guidance*. Banbury: WRAP :Wate and Resrouces Action Programme.
- Haslinda, A. N., Xian, T. W., Norfarahayu, K., Hanafi, R. M., & Fikri, H. M. (2017). Investigation on the Factors Influencing Construction Time and Cost Overrun for High-Rise Building Projects In Penang. *Journal of Physics: Conference Series*, 995.

- Hatmoko, J. U., & Scott, S. (2010). Simulating the impact of supply chain management practice on the performance of medium-sized building projects. *Construction Management and Economics*, 35-49.
- Heeswij, W. v., Larsen, R., & Larsen, A. (2019). An urban consolidation center in the city of Copenhagen: A simulation study. *International Journal of Sustainable Transportation*, 675-691.
- Hezarkhani, B., Slikker, M., & Woensel, T. V. (2019). Gain-sharing in urban consolidation centers. *European Journal of Operational Research*, 380-392.
- Hsua, P.-Y., Angeloudis, P., & Aurisicchio, M. (2018). Optimal logistics planning for modular construction using two-stage stochastic programming. *Automation in Construction*, 47-61.
- Hsua, P.-Y., Panagiotis, A., & Marco, A. (2018). Optimal logistics planning for modular construction using two-stage stochastic programming. *Automation in Construction*, 47-61.
- Hu, W. (2008). Improving Construction Collaboration Performance Through Supply Chain. *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*. IEEE.
- Hu, W. (2008). Improving Construction Collaboration Performance Through Supply Chain Control and Management. *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering* (pp. 58-61). Taipei: IEEE.
- Huo, B. (2012). The impact of supply chain integration on company performance: an organizational capability perspective. *Supply Chain Management*, 596-610.

- Hussain A.H Awad, M. O. (2010). Supply chain integration: Definitions and challenges. *The international MultiConference of engineering and computer scientists 2010*. Hong Kong.
- Im, K. S., Han, S. H., Koo, B., & Jung, D. Y. (2009). Formulation of a pull production system for optimal inventory control of temporary rebar assembly plants. *Formulation of a pull production system for optimal inventory control of temporary rebar assembly plants*, 1444-1458.
- Jara Brinkman, M. B.-R. (2015). Collaboration between subsidiaries with different disciplines in the construction industry. *28th IPMA World Congress* (pp. 44-54). The Netherlands: Procedia - Social and Behavioral Sciences.
- Jaśkowski, P., Sobotka, A., & Czarnigowska, A. (2018). Decision model for planning material supply channels in construction. *Automation in Construction*, 235-242.
- Josephson, P.-E., & Chao, M. (2014). Use and non-use of time in construction of new multi-dwelling buildings in Sweden. *International Journal of Construction Management*, 2331-2327.
- Kaming, P. f., Olomolaiye, P. O., Holt, G. D., & Harris, F. C. (1997). Factors influencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia. *Construction Management and Economics* , 83-94.
- Karlsen, J. T. (2020). project stakeholders management . *Engineering Management Journal*, 19-24.
- Kasim, N., & Zainal, R. (2012). Implementation of RFID Technology for Real-Time Materials Tracking Process in Construction Projects . *IEEE Colloquium on Humanities, Science*

& *Engineering Research (CHUSER 2012), December 3-4, 2012, Kota Kinabalu*, (pp. 472-476). Sabah: IEEE .

Koolwijk, J. S., Oel, C. J., Wamelink, J. W., & Vrijhoef, R. (2018). Collaboration and Integration in Project-Based Supply Chains in the Construction Industry. *Journal of Management in Engineering*.

Kumar, S. S., & Cheng, J. C. (2015). A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. *Automation in Construction*, 24-37.

Larsson, J., & Larsson, L. (2020). Integration, Application and Importance of Collaboration in Sustainable Project Management. *Sustainability*.

Le, P. L., Chaabane, A., & Dao, T.-M. (2019). BIM contributions to construction supply chain management trends:. *International Journal Of Construction Management*.

Li, D., & Christopher O'Brien. (1999). Integrated decision modelling of supply chain efficiency. *International Journal of Production Economics*, 147-157.

Lian, D., & Ke, H. (2018). Coordination in project supply chain based on uncertainty theory. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 3757-3772.

Lith, J. v., Lith, J. v., Castano, J. M., & Vos, B. (2015). Assessing maturity development of purchasing management in construction. *Benchmarking: An International Journal*, 1033 - 1057.

Lith, J. v., Voordijk, H., Matos_Castano, J., & Vos, B. (2015). Assessing maturity development of purchasing management in construction. *Benchmarking: An International Journal*, 1033 - 1057.

- Liu, J., & Lu, M. (2018). Constraint Programming Approach to Optimizing Project Schedules under Material Logistics and. *Journal of construction engineering and management* .
- Liu, K., Su, Y., & Zhang, S. (2018). Evaluating Supplier Management Maturity in Prefabricated Construction Project-Survey Analysis in China. *Sustainability* .
- Liu, Q., & Tao, Z. (2015). A Multi-Objective Optimization Model for the Purchasing and Inventory in a Three-Echelon Construction Supply Chain. *the Ninth International Conference on Management Science and Engineering Management* (pp. 245-253). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Liu, Q., & Tao, Z. (2015). A Multi-Objective Optimization Model for the Purchasing and Inventory in a Three-Echelon Construction Supply Chain. *International Conference on Management Science and Engineering Management, Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 245-253). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Liu, Q., & Xu, J. (2015). Construction supply chain-based dynamic optimisation for the purchasing and inventory in a large scale construction project. *European J. Industrial Engineering*,, 839-865.
- Liu, Q., Xu, J., & Qin, F. (2017). Optimization for the integrated operations in an uncertain construction supply chain. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 400-414.
- Liu, Q., Xu, J., & Zhang, Z. (2015). Construction supply chain-based dynamic optimisation for the purchasing and inventory in a large scale construction project. *European J. of Industrial Engineering (EJIE)*.
- Liu, S.-S., & Wang, C.-J. (2008). Resource-constrained construction project scheduling model for profit maximization considering cash flow. *Automation in Construction*, 966-974.

- Lu, H., Wang, H., Xie, Y., & Li, H. (2016). Construction Material Safety-Stock Determination Under Nonstationary Stochastic Demand and Random Supply Yield. *IEEE transactions on engineering management*, 201-212.
- Lu, H., Wang, H., Xie, Y., & Wang, X. (2018). Study on construction material allocation policies: A simulation optimization method. *Automation in Construction*, 201-212.
- Lundesjo, G. (2015). *Supply Chain Management and Logistics in Construction Delivering Tomorrow's Built Environment*. KoganPage.
- Luong, L. P., Chaabane, A., & Dao, T.-M. (2019). BIM contributions to construction supply chain management trends:. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CONSTRUCTION MANAGEMENT*.
- Luong, L. P., Elmughrabi, W., Dao, T.-M., & Chaabane, A. (2018). Present focuses and future directions of decisionmaking in construction supply chain management:. *International Journal of Construction Management*.
- Luong, L. P., Jarroudi, I., Dao, T.-M., & Chaaban, A. (2020). Integrated construction supply chain: an optimal decision_making model with third party logistics partnership. Dans P. L. LE, *Optimization of Integrated Construction Supply Chain and BIM-based Logistics Planning* (pp. 65-103). Montreal: École de technologie supérieure.
- Ma, Y., Fang, Y., Kang, K., & Wei, X. (2016). A novel integrated production-distribution planning model with conflict and coordination in a supply chain network. *Knowledge-Based Systems*, 119-133.
- Ma, Y., Yan, F., Kang, K., & Wei, X. (2016). A novel integrated production-distribution planning model with conflict and coordination in a supply chain network. *Knowledge-Based Systems*, 119-133.

- Malik M.A. Khalfan, M. K. (2010). Knowledge management in construction supply chain integration . *Int. J. Networking and Virtual Organisations*, 207-221.
- Meng, X. (2012). The effect of relationship management on project performance in construction. *International Journal of Project Management*, 188-198.
- Misron1, N. F., Khoiry, M. A., & Hamzah, N. (2018). A Framework of Efficient Material Storage. *International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE 2018)*.
- Navarro-Correcher, C., & Carles Pérez-Cervera. (2018). Business models analysis of Construction Consolidation Centres. *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA*. Vienna, Austria.
- Nazarnia, N., Schwick, C., & A.G.Jaeger, J. (2016). Accelerated urban sprawl in Montreal, Quebec City, and Zurich: Investigating the differences using time series 1951–2011. *Ecological Indicators*, 1229–1251.
- Neghabadi, P. D., Espinouse, M.-L., & Samuel, K. E. (2018). Planning process for pooling integration in city logistics. *International Conference on Logistics Operations Management (GOL)*.
- Newcombe, R. (2003). From client to project stakeholders: a stakeholder mapping approach. *Construction Management and Economics*, 841-848.
- Ningshuang Zeng, Y. L. (2018). Investigating the Relationship between Construction Supply Chain Integration and Sustainable Use of Material: Evidence from. *sustainability* .

- O'Brien, W. J., Formoso, C. T., Vrijhoef, R., & London, K. A. (2009). *Construction Supply Chain Management HANDBOOK*. London New York: Taylor & Francis Group.
- Olander, S., & Landin, A. (2005). Evaluation of stakeholder influence in the implementation of construction projects. *International Journal of Project Management* , 321-328.
- Orangi, A., Palaneeswaean, E., & Wilson, J. (2011). Exploring Delays in Victoria-Based Astralian Pipeline Projects. *The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*. 874-881: Procedia Engineering.
- Österle, I., Aditjandra, P. T., Grea, C. V., & Zunder, T. H. (2015). The role of a structured stakeholder consultation process within the establishment of a sustainable urban supply chain. *Sustainable urban supply chain*, 284-299.
- Ottosso, M. (2005). *Evaluation report –New Concepts for the Distribution of Goods (WP 9)*. Stockholm: City of Stockholm, Environment and Health Administration.
- Packham, G., Thomes, B., & Miller, C. (2003). Partnering in the house building sector: a subcontractor's view . *International Journal of Project Management*, 327-332.
- Paddeu, D. (2017). The Bristol-Bath Urban freight Consolidation Centre from the perspective of its users. *Case Studies on Transport Policy*, 483-491.
- Phuoc, L. L., Jarroudi, I., Dao, T.-M., & chaabane, A. (2020). Integrated construction supply chain: An optimal decision-making model with third-party logistics partnership. , *Construction Management and Economics*.
- PMI. (2000). *Construction extension to a guide to the project management body of knowledge PMbok guide*. Pennsylvania USA: PMI.

- Project Management Institute. (2006). *The standard for program management*. Project Management Institute.
- R.J.Dainty, A., Briscoe, G. H., & J.Millett, S. (2001). Subcontractor perspectives on supply chain alliances. *Construction Management and Economics*, 841–848.
- Radulescu, C. M., Stefan, O., Radulescu, G. M., & Radulescu, A. T. (2016). Management of Stakeholders in Urban Regeneration Projects. Case Study: Baia-Mare, Transylvania. *sustainabikity*.
- Radziszewska-Zielina, E., & Kania, E. (2017). Problems in Carrying Out Construction Projects in Large Urban Agglomerations on the Example of the Construction of the Axis and High5ive Office Buildings in Krakow. *Theoretical Foundation of Civil Engineering*.
- Rahman, S. H., Endut, I. R., Faisol, N., & Paydar, S. (2013). The Importance of Collaboration in Construction Industry from Contractors' Perspectives. *International Conference on Innovation, Management and Technology Research* (pp. 414-421). Malaysia: Procedia - Social and Behavioral Sciences.
- Said, H., & El-Rayes, K. (2011). Optimizing Material Procurement and Storage on Construction Sites. *Journal of Construction Engineering and Management*, 421-431.
- Said, H., & El-Rayes, K. (2013). Optimal utilization of interior building spaces for material procurement and storage in congested construction sites. *Automation in Construction*, 292-306.
- Sanjay, C. C., & Tindwani, A. (2017). Logistics optimisation in road construction project. 158-179.
- Scott Wilson Ltd. (2010). *Freight Consolidation Centre Study Final Report*. Glasgow.

- Segerstedt, A., & Olofsson, T. (2010). Supply chains in the construction industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, 347-353.
- Serpell, A., & Rojas, B. H. (2004). supply chain management in construction: diagnosis and application issues. *International Symposium on Globalisation and Construction*. Bangkok, Thailand.
- Sobotka, A., Jaskowski, P., & Czarnigowska, A. (2012). optimization of aggregate supplies for road projects. *Procedia -Social and behavioral sciences*, 838-846.
- Statistics Canada. (2018, January 17). *statcan*. Récupéré sur construction: <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-402-x/2011000/chap/construction/construction-eng.htm>
- Stevens, G. (1989). Integrating the supply chain. *International Journal of Physical Distribution*, 3-8.
- Stevens, G. (2016). Integrating the Supply ... 25 years on. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 19-42.
- Subramani, T., & Tamizhanban, S. (2016). Supply Chain Management In Construction Site By Using SPSS Software. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*, 182-193.
- Sullivan, G., Barthorpe, S., & Robbins, S. (2010). *Managing construction logistics*. Wiley-Blackwell.

- Sungbae Kang, T. M. (2016). Impact of Information Exchange and Supply Chain Integration on Supply Chain Performance. *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology*.
- Tam, V. W., & Shen, L. (2011). Impacts of multi-layer chain subcontracting on project management performance. *International Journal of Project Management*, 108-116.
- Tam, V. W., Shen, L., & Kong, J. S. (2011). Impacts of multi-layer chain subcontracting on project management performance. *International Journal of Project Management*, 108–116.
- Tan, Y., Xue, B., & Cheung, Y. T. (2017). Relationships between Main Contractors and Subcontractors and Their Impacts on Main Contractor Competitiveness: An Empirical Study in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Thunberg, M., & Fredriksson, A. (2018). Bringing planning back into the picture – How can supply chain planning aid in dealing with supply chain-related problems in construction? *CONSTRUCTION MANAGEMENT AND ECONOMICS* , 425-442.
- Thunberg, M., & Persson, F. (2013). Using the SCOR model's performance measurements to improve construction logistics measurements to improve construction logistics. *Production Planning & Control The Management of Operations*, 1366-5871.
- Transport Canada. (2012). *Manicpal actions to improve the efficiency of goods movement* . Transport Canada.
- Transport for London. (2008). *London Construction Consolidation Centre London Construction Consolidation Centre*. London : Transport for London.

Transport for London. (2016). *The Directory of London Construction Consolidation Centres*. London: Transport for London.

Tserng, H., Yin, S., & Li, S. (2006). Developing a resource supply chain planning system for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*.

United Nations-Department of Economic and social affairs. (2018, May 16). *2018-revision-of-world-urbanization-prospects*. Récupéré sur United Nations: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>

Ville.Montreal. (2018, Juillet). *Montreal.ca*. Récupéré sur Chantier de construction en cours agglomération de Montreal: http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/CHANTIERS_JUILLET2018.PDF

Vrijhoef, R., & Koskela, L. (2000). The four roles of supply chain management in construction. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 169-178.

Wang, T.-K., Zhang, Q., Chong, H.-Y., & Wang, X. (2017). Integrated Supplier Selection Framework in a Resilient Construction Supply Chain: An Approach via Analytic Hierarchy Process (AHP) and Grey Relational Analysis (GRA). *sustainability*.

Wanjari, S. p., & Dobariya, G. (2016). Identifying factors causing cost overrun of the construction projects. *Sa⁻dhana*, 679–693.

Wegelius-Lehtonen, T., & Pahkala, S. (1998). Developing material delivery processes in cooperation: An application example of the construction industry. *Int. J. Production Economics*, 56-57.

WRAP. (2011). *Using Construction Consolidation Centres to reduce construction waste*. London: WRAP.

Xue, X., Shen, Q., Tan, Y., Zhang, Y., & Fan, H. (2011). Comparing the value of information sharing under different inventory policies in construction supply chain. *International journal of project management* , 867-876.

Zhendong, G., & Zhenmin, S. (2010). A Conceptual Framework for Construction Supply Chain Integration. *the 18th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*. Wuhan, China: IEEE.

