

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION POUR UN RÉSEAU DE TRANSPORT MUTUALISÉ,
ÉCORESPONSABLE ET EFFICIENT DANS LA RÉGION DES LAURENTIDES

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE
MAÎTRISE ÈS SCIENCES DE LA GESTION

PAR
JESSICA HARB

MARS 2025

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.12-2023). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Ces trois années universitaires étaient vraiment lourdes, et j'ai rencontré de nombreux défis, surtout depuis mon arrivée au Canada et du fait que je n'avais aucune connaissance en matière de gestion des opérations. Grâce à l'accueil chaleureux de mes professeurs, j'ai réussi et j'ai pu accomplir ce que j'ai fait jusqu'à présent.

En premier lieu, c'est avec une immense gratitude que je remercie ma directrice de projet, la professeure Yasmina Maïzi, pour son encadrement exceptionnel tout au long de ce travail. Sa disponibilité, son écoute attentive, son soutien académique et émotionnel m'ont toujours encouragé pour continuer en avance. Grâce à ses judicieux conseils, ses remarques constructives et surtout la confiance qu'elle m'a accordée durant le processus, j'ai pu mener à bien ce projet et en tirer des apprentissages précieux pour le futur. Lorsque je me sens fatiguée, elle me remontait toujours le moral et me conseillait de prendre soin de moi.

Je suis aussi sincèrement reconnaissante à ma codirectrice, la professeure Ana María Anaya-Arenas, dont l'expertise en matière d'optimisation a été un atout inestimable dans le cadre de ce projet. Ses connaissances approfondies dans ce domaine ont non seulement enrichi mon travail, mais aussi élargi ma compréhension de concepts complexes que j'ai pu appliquer efficacement. Outre ses compétences techniques, sa disponibilité, son écoute attentive et ses retours avisés m'ont permis de progresser avec assurance et détermination.

Je remercie tout particulièrement mon collègue Daniel Mauricio Ocampo Giraldo, étudiant en doctorat en administration, qui m'a épaulée grâce à sa grande expertise en Python et en codage, et qui m'a beaucoup aidé au cours de cette année à obtenir les données d'entrée pour mon modèle de simulation, qui était toujours prêt à m'expliquer

chaque détail, et qui a fourni un grand effort pour générer des résultats de routage. Je n'aurais pas pu réaliser ce travail sans son intervention et son soutien remarquable.

À mes parents, je vous remercie du fond du cœur pour votre amour inconditionnel, votre patience et vos encouragements constants. Vous avez toujours cru en moi, même dans les moments de doute, et votre soutien a été une source de force et de motivation.

Un grand merci pour mes amis. Que ce soit par leurs paroles réconfortantes ou simplement leur capacité à me faire rire et à me détendre, mes amis ont joué un rôle crucial dans ma progression. Ils m'ont appuyée dans les moments de doute, m'ont offert de nouvelles perspectives et m'ont toujours poussée à donner le meilleur de moi-même.

Merci à vous tous pour votre aide précieuse, votre patience, et votre confiance en moi. Ce projet est le reflet de votre soutien et de votre implication.

AVANT-PROPOS

Les travaux présentés dans ce mémoire de maîtrise s'inscrivent dans le cadre d'un projet de recherche d'envergure visant à développer des outils d'aide à la décision pour la conception de réseaux logistiques régionaux bioalimentaires. Ce projet a émergé grâce à un partenariat entre l'équipe de recherche du Centre de recherche sur l'intelligence en gestion de systèmes complexes (CRI2GS) de l'École des sciences de la gestion (ÉSG) et l'organisme communautaire Carrefour Bioalimentaire des Laurentides (CBL).

Le CBL a sollicité l'expertise de cette équipe de recherche afin de l'appuyer dans ses démarches de concertation visant à planifier un nouveau réseau logistique régional intégré. Ce réseau repose sur le principe de la mutualisation des ressources, partagées entre les entreprises membres du CBL et les organismes œuvrant pour la sécurité alimentaire dans la région. Il met un accent particulier sur des enjeux de durabilité, incluant l'efficacité économique, l'écoresponsabilité, l'équité sociale et la résilience.

Le projet mobilise une équipe pluridisciplinaire composée de professeurs, d'un doctorant et d'une étudiante à la maîtrise, chacun apportant une expertise spécifique pour contribuer à la réussite de cette initiative. Ce mémoire s'inscrit dans cette dynamique collaborative en abordant des aspects fondamentaux pour la mise en œuvre d'un réseau logistique durable et optimisé dans le secteur bioalimentaire régional.

Malgré plus de huit mois de collaboration, le Carrefour Bioalimentaire des Laurentides (CBL) a cessé ses activités, ce qui a considérablement limité l'accès aux données nécessaires à ce projet. Néanmoins, des efforts substantiels ont été déployés pour recueillir le maximum d'informations disponibles, permettant ainsi de poursuivre le développement de la solution logistique proposée. Ce mémoire contribue ainsi à l'avancement des connaissances dans un contexte à la fois complexe et directement inspiré de la réalité du CBL. Il est important de souligner que, bien que le CBL ait mis fin à ses activités au cours de ce projet de recherche, son nom a été conservé tout au

long de ce mémoire afin d'assurer la fluidité et la cohérence du rapport. De plus, les problématiques et enjeux abordés dans ce projet sont représentatifs de nombreux organismes régionaux confrontés à des défis similaires à ceux du CBL. Par conséquent, les contributions de ce mémoire demeurent pertinentes et applicables à des contextes similaires, renforçant ainsi leur portée et leur utilité.

Ma contribution s'articule autour de plusieurs axes essentiels. J'ai mené une analyse approfondie de la problématique logistique en lien avec le partenariat du CBL, ce qui a permis de mieux cerner les enjeux spécifiques du contexte régional. J'ai également conçu et élaboré un sondage destiné à collecter des données pertinentes pour la planification stratégique. Ces données ont ensuite été utilisées pour développer des modèles d'optimisation adaptés aux besoins identifiés.

De plus, j'ai participé à la modélisation et à la simulation de différents scénarios logistiques, afin d'évaluer les performances des solutions d'optimisation proposées. Ce travail a contribué à la validation des approches développées et à leur alignement avec les objectifs de durabilité et d'efficacité économique. Ces différentes étapes reflètent la portée multidimensionnelle de ma contribution au projet, combinant à la fois analyse, conception, collecte de données et développement méthodologique.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
AVANT-PROPOS	iv
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	xiii
RÉSUMÉ.....	xv
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 Problématique, questions et objectifs de recherche	5
1.1 Contexte du projet	7
1.1.1 Le CBL.....	9
1.1.2 Moisson Laurentides	11
1.2 Les enjeux du transport	12
1.3 Problématique de recherche : la situation actuelle du réseau de transport dans la région des Laurentides	14
1.4 Question de recherche	15
1.5 Objectifs de recherche	16
1.6 Plan du projet	20
CHAPITRE 2 Revue de littérature.....	22
2.1 Cadre théorique	22
2.1.1 Approche de modélisation par simulation.....	22
2.1.2 Approche de modélisation par optimisation	25
2.1.3 Approche hybride : intégration de la simulation et l’optimisation	26
2.2 Revue de la littérature	32
2.2.1 Étape 1 « Planification et formulation du problème »	34
2.2.2 Étape 2 « Recherche documentaire »	34
2.2.2.1 Identifier les mots-clés	34
2.2.2.2 Créer des requêtes	35
2.2.2.3 Appliquer un horizon de temps	36
2.2.2.4 Déterminer les critères d’inclusion et d’exclusion.....	36
2.2.2.5 Démarrer le processus de sélection	37
2.2.2.6 Diagramme Prisma.....	37
2.2.3 Étapes 3 et 4 « La collecte de données ».....	41

2.2.3.1	Taxonomie de la classification des articles	42
2.2.4	Étapes 5 et 6 « L'analyse, la synthèse et l'interprétation des données ».....	43
2.2.4.1	Optimisation avec itérations basées sur la simulation (OSI) (Fonction d'évaluation):	47
2.2.4.2	Simulation-optimisation alternative (ASO) (Amélioration du modèle analytique):	49
2.2.4.3	Simulation-optimisation séquentielle (SSO) (Construction d'un modèle de substitution):	50
2.2.4.4	Simulation avec itérations basées sur l'optimisation (SOI) (Génération de solution) :	51
2.2.5	Étape 7 et 8 « La présentation des résultats et la mise à jour de l'étude ».....	52
2.2.6	Étape 9 « Positionnement du projet de recherche »	53
CHAPITRE 3 Méthodologie de la recherche.....		55
3.1	La définition du problème	58
3.2	La collecte de données	58
3.3	La modélisation	60
3.3.1	Phase 1 : Définition fonctionnelle et technique	62
3.3.2	Phase 2 : Conception du modèle de simulation	62
3.3.2.1	La préparation du sondage	63
3.3.2.2	Création d'un modèle mathématique d'affectation	64
3.3.2.3	VRP Spreadsheet Solver, création d'un modèle mathématique et programmation	65
3.3.3	Phase 3 et 4 : Expérimentation et analyse des résultats	65
3.3.4	Phase 5 et 6 : Documentation et implémentation.....	66
3.4	Les résultats et les expérimentations	66
3.5	La conclusion	66
CHAPITRE 4 Outils d'aide à la décision hybride pour le modèle de transport de la région des Laurentides		67
4.1	La définition fonctionnelle et technique	67
4.1.1	La définition du problème.....	67
4.1.2	La collecte de données	67
4.2	La conception des modèles de simulation et d'optimisation	68
4.2.1	Les modèles d'optimisation et leurs résultats	72
4.2.1.1	Les tournées de livraison générées par l'optimiseur	82
4.2.2	Les modèles de simulation et leurs résultats	86
4.2.2.1	Cas non mutualisé : Définition du système actuel à modéliser et approche de simulation retenue	87
4.2.2.2	Cas mutualisé : Définition du système actuel à modéliser et approche de simulation retenue.....	96
CHAPITRE 5 Discussion et recommandation.....		105
5.1	Scénario non mutualisé - Modèle « As-Is »	106
5.2	Les scénarios mutualisés- Modèle « To-be »	110

5.2.1 Scénario 1 : Mutualisation de 8 membres- Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré, Jolies mi noix.....	111
5.2.2 Scénario 2 : Mutualisation de 8 membres- Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré, Jolies mi- noix	112
5.2.3 Scénario 3 : Mutualisation de 9 membres- Ah tout cru le bec, Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré, Jolies mi- noix	114
5.2.4 Scénario 4 : Mutualisation de 10 membres- Ferme la rose des vents, Ah tout cru le bec, Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré, Jolies mi- noix.....	116
5.3 Le choix du scénario de mutualisation.....	118
CONCLUSION	121
ANNEXE A Informations relatives au chapitre 1	124
ANNEXE B Comparaison des trois méthodologies de résolution du problème d’optimisation .	126
ANNEXE C La collecte de données	128
ANNEXE D Les données concernant les membres	139
ANNEXE E VRP Spreadsheet Solver	141
ANNEXE F Le modèle de simulation As-Is et le modèle To-Be	151
ANNEXE G Les résultats de la simulation non mutualisée.....	157
RÉFÉRENCE	163

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Objectif global du projet	7
Figure 1.2 Le réseau bioalimentaire des Laurentides.....	8
Figure 1.3 Le système alimentaire durable	10
Figure 2.1 Revue systématique de la littérature (Thomé et al., 2016)	33
Figure 2.2 Diagramme Prisma	38
Figure 2.3 Classification des approches hybrides simulation-optimisation (Figueira et Almada-Lobo, 2014).....	45
Figure 3.1 Méthodologie de la recherche opérationnelle	55
Figure 3.2 Schéma de la méthode de conception du modèle de simulation DES	61
Figure 3.3 Les agents du réseau de transport	63
Figure 3.4 Les étapes de la préparation du sondage.....	64
Figure 4.1 Schéma des modèles d'Optimisation et de Simulation	69
Figure 4.2 Cartographie simple du processus de livraison des marchandises aux clients	71
Figure 4.3 Positionnement géographique du CBL, de ML et des membres	72
Figure 4.4 Instance du membre Mandys Microgreens dans le fichier Excel	78
Figure 4.5 Logique Mandys Microgreens (1 tournée)	91
Figure 4.6 Logique Ah tout cru le bec (trois tournées)	91
Figure 4.7 La liste des collections et des horaires de livraison	92
Figure 4.8 Les KPIs du modèle non mutualisé	93
Figure 4.9 Le plan d'expérience du modèle non mutualisé	95
Figure 4.10 Le résultat du plan d'expérience du membre Ferme aux petits oignons	96
Figure 4.11 La logique de simulation du scénario 1 mutualisé.....	98
Figure 4.12 Les collections et le Schedule crée pour le scénario 4 mutualisé	99
Figure 4.13 Les KPIs du modèle mutualisé 4	100

Figure 4.14 Tableau de bord produit par le plan d'expérience du scénario 1 mutualisé 101

Figure 4.15 Tableau de bord produit par le plan d'expérience du scénario 2 mutualisé 102

Figure 4.16 Tableau de bord produit par le plan d'expérience du scénario 3 mutualisé 103

Figure 4.17 Tableau de bord produit par le plan d'expérience du scénario 4 mutualisé 104

Figure 5.1 Le processus d'analyse et de comparaison entre le modèle (« As-Is ») et (« To-Be »)
..... 106

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Présentation des objectifs, questions de recherche et des contributions de la recherche	20
Tableau 2.1 La simulation dans les divers domaines d'activité	23
Tableau 2.2 La liste des concepts clés et leurs synonymes	35
Tableau 2.3 Les critères d'inclusion et d'exclusion.....	37
Tableau 2.4 Liste des articles par secteurs d'activité	46
Tableau 2.5 Regroupement des articles selon les structures hiérarchiques.....	47
Tableau 4.1 Les instances formulées.....	77
Tableau 4.2 Les tournées de véhicules non mutualisées	83
Tableau 4.3 Les scénarios à tester dans le cadre des routes mutualisées	84
Tableau 4.4 Les tournées mutualisées et les horaires de livraison (Scénario 1)	85
Tableau 4.5 Les tournées mutualisées et les horaires de livraison (Scénario 2)	85
Tableau 4.6 Les tournées mutualisées et les horaires de livraison (Scénario 3)	86
Tableau 4.7 Les tournées mutualisées et les horaires de livraison (Scénario 4)	86
Tableau 4.8 Les composantes du modèle de simulation	88
Tableau 4.9 Les hypothèses du modèle de simulation	90
Tableau 5.1 Les résultats du scénario non mutualisé	107
Tableau 5.2 Comparaison des durées totales des tournées obtenues par l'optimiseur Gurobi versus la simulation AnyLogic.....	110
Tableau 5.3 Résultat de la mutualisation du scénario 1	111
Tableau 5.4 Comparaison des résultats- mutualisation versus non mutualisation (Scénario 1) ..	112
Tableau 5.5 Résultat de la mutualisation du scénario 2	113
Tableau 5.6 Comparaison des résultats- mutualisation versus non mutualisation (Scénario 2) ..	114
Tableau 5.7 Les résultats de la mutualisation du scénario 3	115

Tableau 5.8 Comparaison des résultats- mutualisation versus non mutualisation (Scénario 3) ..	116
Tableau 5.9 Les résultats de la mutualisation du scénario 4	117
Tableau 5.10 Comparaison des résultats- mutualisation versus non mutualisation (Scénario 4)	118
Tableau 5.11 La répartition des tournées de véhicules suivants les jours de la semaine	120

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

- ACO – « *Ant Colony Algorithm* » (Algorithme de colonies de fourmis)
- ABM – « *Agent-Based Simulation Modeling* » (Simulation à base d’agents)
- APL – « *Automated Parcel Lockers* » (Casiers à colis automatisés)
- CBL – « Carrefour Bioalimentaire des Laurentides »
- CIUSS – « Centre intégré de santé et de services sociaux des Laurentides »
- CO₂ – « *Carbon Dioxide* » (Dioxyde de Carbone)
- DES – « *Discrete-Event Simulation Modeling* » (Simulation à événements discrets)
- E – Exacte
- ECCC – « *Environnement et Changement climatique Canada* »
- FEFO – « *First Expired, First Out* » (premier expiré, premier sorti)
- FLP – « *Facility Location Problem* » (Problème d'emplacement des installations)
- HE – Heuristique
- HRCC – « *Trucking HR Canada* » (RH Camionnage Canada)
- ITP – « *Integer Programming* » (Programmation en nombres entiers)
- IRP – « *Inventory Routing Problem* » (Problème de routage des inventaires)
- JIT – « *Just-in-Time Algorithm* » (Algorithme juste à temps)
- KPI – « *Key Performance Indicator* » (Indicateurs de performance)
- LRP – « *Location Routing Problem* » (Problème de routage de localisation)
- MDPDPTW – « *Multi-Depot Pick-Up and Delivery Problem with Time Windows* » (Problème de collecte et de livraison multi-dépôts avec fenêtres temporelles)
- ME – Métaheuristique
- MRC – « Municipalités Régionales de Comté »
- O2O – « *online-to-offline* »
- P&D – « *Pick-Up and Delivery* » (Collecte et livraison)
- PSO – « *Particle swarm optimization* »

- SD – « *System Dynamics* » (Dynamique du système)
- TSP – « *Traveling Salesman Problem* » (Problème de voyageur de commerce)
- VRP – « *Vehicle Routing Problem* » (Problème de routage des véhicules)
- VMI – « *Vendor Management Inventory* » (Inventaire de la gestion des fournisseurs)
- WSC – « *Winter Simulation Conference* »

RÉSUMÉ

Le CBL avait pour mission de structurer un réseau logistique régional basé sur la mutualisation des ressources entre les producteurs, transformateurs et distributeurs locaux. Cette initiative visait à promouvoir une distribution alimentaire plus efficace, durable et économiquement viable dans la région des Laurentides. Toutefois, sa fermeture au cours de cette recherche a engendré des défis significatifs, notamment en ce qui concerne l'accès aux données.

Dans ce contexte, ce mémoire s'intéresse aux problématiques logistiques liées au transport mutualisé des denrées alimentaires, en explorant les contraintes et les opportunités qu'offre une telle approche. À travers une méthodologie combinant analyse des besoins, modélisation mathématique, et simulation, plusieurs scénarios de mutualisation ont été développés et évalués. Les résultats démontrent que la mutualisation des tournées de transport permet non seulement de réduire les coûts d'exploitation et les émissions de CO₂, mais aussi d'améliorer l'efficacité des livraisons en garantissant une meilleure coordination entre les acteurs du secteur bioalimentaire.

Au-delà des bénéfices quantitatifs, cette étude met en lumière l'importance de la collaboration entre les parties prenantes pour assurer la pérennité d'un modèle logistique durable, même en l'absence d'un organisme fédérateur comme le CBL. Elle illustre également comment l'intégration d'outils d'aide à la décision, basés sur l'optimisation et la simulation, peut accompagner les entreprises et les organismes communautaires dans la transition vers des solutions de transport plus résilientes et adaptées aux enjeux actuels du secteur bioalimentaire.

Mots clés : Transport mutualisé, logistique, bioalimentaire, optimisation des tournées, simulation, efficacité opérationnelle, développement durable, Carrefour Bioalimentaire des Laurentides.

INTRODUCTION

Le CBL est une initiative régionale visant à favoriser le développement du secteur bioalimentaire dans la région des Laurentides, au Québec. En tant qu'acteur clé dans la structuration et la consolidation des filières bioalimentaires locales, le CBL met l'accent sur l'agriculture durable, l'innovation et la collaboration entre les différents intervenants du secteur. Son action se décline à travers plusieurs axes stratégiques. Tout d'abord, le CBL soutient les producteurs locaux dans l'adoption de pratiques agricoles durables et novatrices, contribuant ainsi à la diversification des productions et à la valorisation des produits régionaux. De plus, il joue un rôle central dans le développement des marchés locaux, établissant des partenariats avec des détaillants, restaurateurs et consommateurs, ce qui renforce l'économie régionale. En matière d'innovation, le CBL soutient des projets de recherche et de développement destinés à améliorer les méthodes agricoles et les procédés de transformation des produits bioalimentaires. Il facilite aussi la coopération entre les différents acteurs du secteur, ce qui améliore l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement et optimise les processus à chaque étape. Le CBL regroupe une diversité de membres, incluant des producteurs agricoles, des transformateurs, des distributeurs, des institutions de recherche et d'innovation, ainsi que des organismes gouvernementaux et parapublics. Ensemble, ces membres s'engagent à promouvoir la bioéconomie régionale, contribuant ainsi à la prospérité économique et à la durabilité des Laurentides. Ce mémoire analyse le rôle stratégique du CBL dans le développement du secteur bioalimentaire régional, en mettant en lumière la manière dont le réseau de membres contribue à fournir des produits de qualité tout en réduisant l'empreinte écologique et en favorisant la durabilité économique et environnementale.

Cependant, dans la situation actuelle du marché, la compétitivité des entreprises dans le secteur bioalimentaire dépend de plus en plus de leur capacité à optimiser leurs opérations, à réduire leurs coûts et à répondre aux attentes croissantes des consommateurs. Parmi les secteurs les plus concernés par ces enjeux, la livraison alimentaire se distingue par sa complexité et ses exigences élevées en matière de performance. Les entreprises engagées dans la production et la distribution de produits

bioalimentaires, comme celles regroupées sous le CBL, se retrouvent confrontées à une multitude de défis logistiques. En effet, la gestion des réseaux de transport et de livraison joue un rôle central, non seulement en assurant la rapidité, la fiabilité et l'adaptabilité des livraisons aux besoins des clients, mais aussi en optimisant les coûts d'exploitation tout en minimisant l'impact environnemental. Cette dynamique met en lumière la nécessité d'implémenter des solutions logistiques innovantes et efficaces pour soutenir la croissance du secteur bioalimentaire et contribuer à sa durabilité à long terme.

Le CBL, une entreprise située dans la région des Laurentides, est confrontée à un tel défi. Spécialisée dans la distribution de produits alimentaires, l'entreprise est confrontée à d'importantes contraintes logistiques. Son réseau de transport est actuellement caractérisé par un système de gestion des tournées largement non mutualisé, c'est-à-dire que chaque camion effectue des trajets spécifiques indépendamment, ce qui entraîne une utilisation non optimale des véhicules et un nombre excessif de tournées, augmentant ainsi les coûts d'exploitation et l'impact sur l'environnement. L'une des méthodes envisagées pour améliorer cette situation est la mutualisation des tournées de transport. Cette approche consiste à regrouper plusieurs livraisons sur une même tournée, afin de réduire le nombre de trajets et de maximiser l'utilisation des camions. En regroupant plusieurs livraisons en une seule tournée, il devient possible de réduire les distances parcourues et d'optimiser le chargement des véhicules, ce qui entraîne des économies directes en termes de coûts de carburant, d'entretien des véhicules et de rémunération des chauffeurs. De plus, la mutualisation permet de limiter l'impact environnemental des opérations de transport en réduisant la consommation de carburant et en diminuant les émissions de CO₂, contribuant ainsi à une stratégie de développement durable.

Cependant, bien que la combinaison de tournée semble offrir des avantages significatifs, elle présente également des défis logistiques qu'il convient d'examiner attentivement. En effet, le regroupement des livraisons peut entraîner des contraintes supplémentaires en termes de flexibilité et de respect des délais. Certaines livraisons nécessitent des horaires spécifiques ou des tournées directes, et il peut être difficile de

regrouper plusieurs livraisons sans augmenter la durée des trajets ou ne pas tenir compte des délais de livraison. En outre, la variabilité des demandes des clients et les fluctuations des volumes de livraison rendent la planification encore plus complexe. Le défi consiste donc à trouver un équilibre entre la réduction du nombre de tournées et la satisfaction des exigences des clients.

Un autre élément à prendre en considération lors de l'optimisation des tournées de transport est la gestion des incertitudes. Le réseau de transport est soumis à des imprévus tels que les embouteillages, les conditions météorologiques défavorables, les accidents et les fermetures temporaires de routes. Ces perturbations peuvent avoir un impact significatif sur la performance des tournées planifiées et sur la capacité de l'entreprise à respecter les délais de livraison. La planification théorique des tournées ne tient pas nécessairement compte de ces imprévus, ce qui peut entraîner des écarts importants entre les résultats escomptés et la réalité opérationnelle. C'est pourquoi il est essentiel d'intégrer une dimension stochastique et dynamique dans l'optimisation des tournées, afin de modéliser l'impact des événements imprévus sur le réseau de transport et d'évaluer la robustesse des solutions proposées.

Pour relever ces défis, la combinaison d'outils d'optimisation et de simulation est une approche particulièrement appropriée. L'optimisation des tournées, à l'aide d'algorithmes spécialisés, permet de générer des solutions efficaces et économiquement viables en termes de réduction des distances parcourues, de minimisation des coûts et de respect des contraintes de temps. Cependant, l'optimisation seule, basée sur des hypothèses déterministes, ne peut pas prendre en compte les aléas du réseau de transport réel. C'est là qu'intervient la simulation, qui permet de tester les tournées optimisées dans un environnement incertain en modélisant des scénarios réalistes. En simulant les perturbations et les variations du trafic, la simulation offre une évaluation plus précise de la robustesse et de la performance des solutions optimisées, garantissant qu'elles restent efficaces dans des conditions réelles.

Ce projet vise donc à optimiser le réseau de transport du CBL en intégrant la mutualisation des tournées, tout en tenant compte des incertitudes liées au réseau. La

mutualisation, lorsqu'elle est bien planifiée, permet de réduire significativement les coûts logistiques, d'améliorer l'efficacité des livraisons et de soutenir une stratégie de durabilité environnementale. Cependant, il est essentiel de garantir que cette approche préserve la flexibilité nécessaire pour répondre aux attentes des clients et s'adapte aux imprévus du réseau de transport. En résumé, l'objectif est de démontrer que la mutualisation, combinée à une planification optimisée et validée par des simulations réalistes, peut générer des gains substantiels en termes de réduction des coûts, d'impact environnemental, et de satisfaction client, tout en restant résiliente face aux perturbations.

CHAPITRE 1

Problématique, questions et objectifs de recherche

Ce chapitre établit le cadre du projet en abordant le contexte général, la problématique de recherche, les défis auxquels sont confrontés les organismes concernés, ainsi que les objectifs spécifiques visés. La section 1.1 présente le rôle et les activités de l'organisme partenaire CBL, ainsi que certains acteurs avec lesquels il interagit, à savoir Moisson Laurentides. La section 1.2, explore les enjeux logistiques, de planification et de gestion auxquels ces organismes font face. Dans la section 1.3 sont exposées les différentes problématiques de recherche, notamment en ce qui concerne la situation actuelle du réseau de transport dans la région des Laurentides. Les sections 1.4 et 1.5 présentent les questions de recherche spécifiques et les objectifs à atteindre. Enfin, la section 1.6 détaille le plan du projet de mémoire, énonçant les différentes étapes à suivre pour mener à bien cette recherche.

Le projet global comprend trois grands volets :

- 1) La description et la formalisation du problème réel et la cueillette des données,
- 2) La création d'outils d'optimisation qui seront ensuite intégrés à un outil de simulation,
- 3) L'expérimentation, l'analyse numérique et la validation des résultats.

La Figure 1.1 présente l'objectif global de ce projet. L'approche adoptée commence par une description détaillée du réseau actuel. Cette étape inclut la collecte d'informations auprès des parties prenantes à travers un questionnaire, afin de mieux comprendre le fonctionnement du réseau. Sur cette base, un portrait précis du réseau est construit, mettant en lumière ses caractéristiques principales. Il est également essentiel d'identifier les sources d'incertitudes susceptibles d'affecter le réseau, comme les variations de la demande, les délais ou les coûts. Une fois les données collectées, celles-ci sont analysées et traitées pour les rendre exploitables dans les étapes suivantes. La deuxième phase repose sur un module combinant simulation et optimisation. D'un côté, la simulation commence par le développement d'un modèle "As-Is", qui représente le

réseau dans son état actuel (non mutualisé). Ensuite, un plan de scénarios est élaboré pour tester différentes hypothèses, comme des modifications de capacité ou de structure. Sur cette base, un modèle du réseau futur est créé (mutualisation). D'un autre côté, l'optimisation s'appuie sur une démarche spécifique permettant de résoudre les problèmes rencontrés dans le réseau. Cette étape inclut la préparation du modèle, qui consiste à configurer les données et paramètres nécessaires, ainsi que l'expérimentation numérique, où des tests sont réalisés pour identifier les solutions optimales ou quasi optimales adaptées au problème étudié.

Dans le cadre de ce projet, et sous la supervision de mes directrices de recherche, j'ai apporté ma contribution sur trois axes principaux. Tout d'abord, dans la première phase de l'étude, j'ai été responsable de l'Axe 1, qui portait sur la description du réseau actuel. À ce titre, j'ai assuré le rôle de liaison avec le CBL, en coordonnant les échanges et en élaborant une analyse détaillée du problème global. J'ai également développé un outil de collecte de données, présenté en **Annexe C**, afin de structurer les informations nécessaires à la suite de l'étude. Ma contribution s'est ensuite orientée vers l'Axe 2, qui a consisté à la modélisation des processus de simulation et d'optimisation. En tant que membre clé de cet axe, j'ai travaillé sur la création de modèles visant à tester et évaluer les solutions optimisées dans un environnement incertain et dynamique, tout en assurant la synergie entre les axes de simulation et d'optimisation. Enfin, dans le cadre de l'Axe 3, qui porte sur l'expérimentation et la validation, j'ai contribué à l'analyse des résultats, en m'assurant que les conclusions tirées reflètent fidèlement les objectifs de l'étude et les défis identifiés.

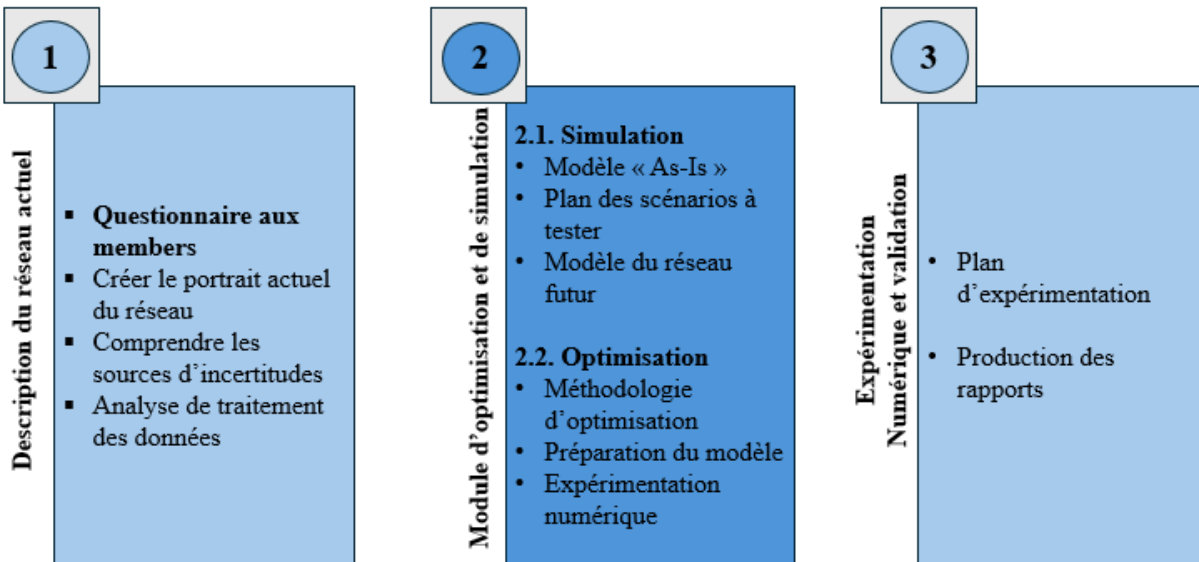


Figure 1.1 Objectif global du projet

1.1 Contexte du projet

Le réseau bioalimentaire des Laurentides repose sur deux piliers complémentaires :

- Le Carrefour Bioalimentaire des Laurentides, qui stimule l'économie locale en appuyant les acteurs commerciaux de la chaîne alimentaire.
- Moisson Laurentides, qui œuvre à réduire l'insécurité alimentaire en apportant un soutien direct aux populations vulnérables.

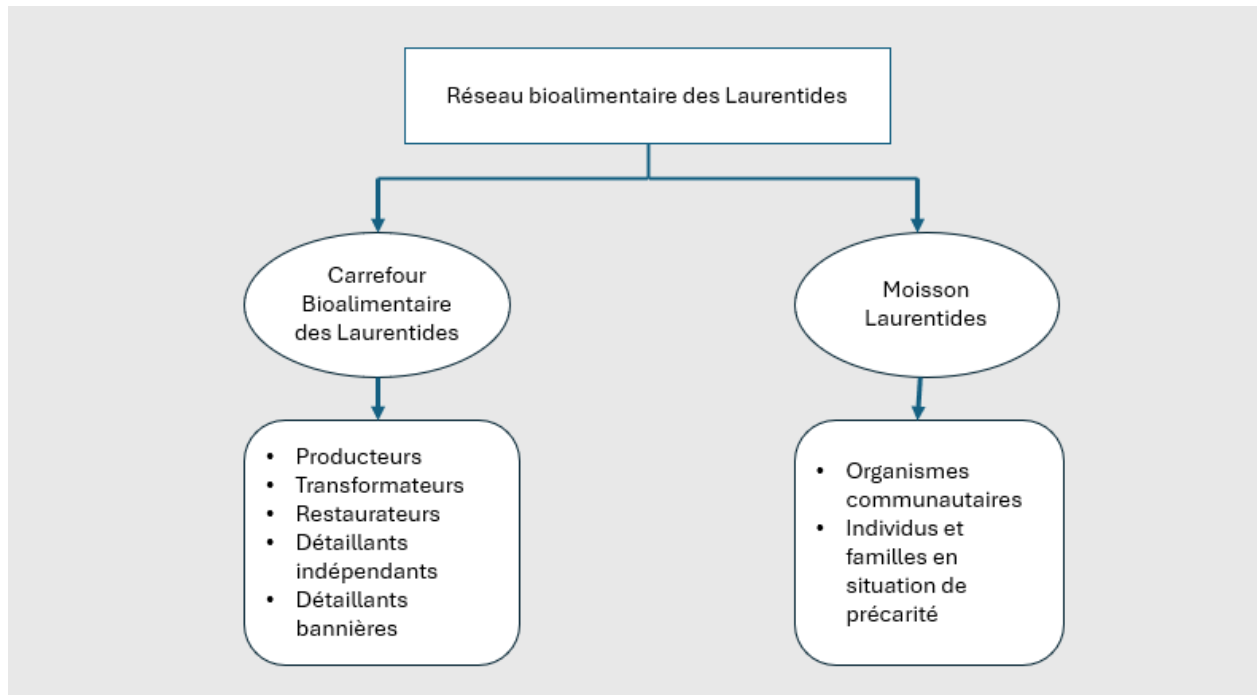


Figure 1.2 Le réseau bioalimentaire des Laurentides

La Figure 1.2 illustre le réseau bioalimentaire dans la région des Laurentides. *Le CBL* se concentre sur le développement économique et commercial de la chaîne alimentaire régionale. Il joue un rôle essentiel dans la connexion et la coordination des acteurs économiques pour promouvoir les produits locaux et soutenir la chaîne de valeur alimentaire. Les acteurs impliqués sont les producteurs (agriculteurs et cultivateurs locaux fournissant les matières premières alimentaires), les transformateurs (entreprises transformant ces matières premières en produits finis), les restaurateurs (établissements de restauration utilisant et valorisant les produits locaux dans leurs menus), les détaillants indépendants (petits commerces et épicerie locales proposant des produits régionaux) et les détaillants bannières (grandes chaînes de supermarchés opérant dans la région). Chaque membre profite d'une manière ou d'une autre du rendement des autres membres, et leurs activités créent une chaîne logistique durable visant à transporter les denrées alimentaires suivant des tournées de véhicules. Le CBL agit comme un levier économique en facilitant la collaboration entre ces acteurs. *Moisson Laurentides* est la branche du réseau dédiée à la sécurité alimentaire. Il s'engage à répondre aux besoins des populations vulnérables en luttant contre l'insécurité

alimentaire. Il collecte, trie et distribue des denrées alimentaires provenant de dons ou de surplus alimentaires. Il travaille en partenariat avec des producteurs, des commerces et des donateurs pour assurer une aide alimentaire régulière et efficace aux personnes dans le besoin. Les acteurs impliqués sont les organismes communautaires (telles que les soupes populaires, refuges, et banques alimentaires locales) qui reçoivent les denrées de Moisson Laurentides pour les redistribuer à leurs bénéficiaires. Les autres acteurs sont les individus et familles en situation de précarité, qui représentent les personnes directement aidées par ces organismes grâce aux ressources alimentaires fournies.

1.1.1 Le CBL

Le CBL est une entreprise à but non lucratif située à Sainte-Agathe-des-Monts, dont la préoccupation initiale se dirige vers le développement d'un réseau alimentaire durable dans la région des Laurentides, et qui regroupe dans sa totalité plus de 77 membres. Fondé en 1997, il a contribué dynamiquement à la réalisation des projets qui favorisent la consommation des produits locaux, en lançant la marque « Laurentides j'en mange », afin d'inciter les partenaires à joindre leurs efforts pour la création d'un système alimentaire efficient. Spécialisé dans la production de produits agricoles, le CBL supporte le besoin alimentaire des citoyens de la région.

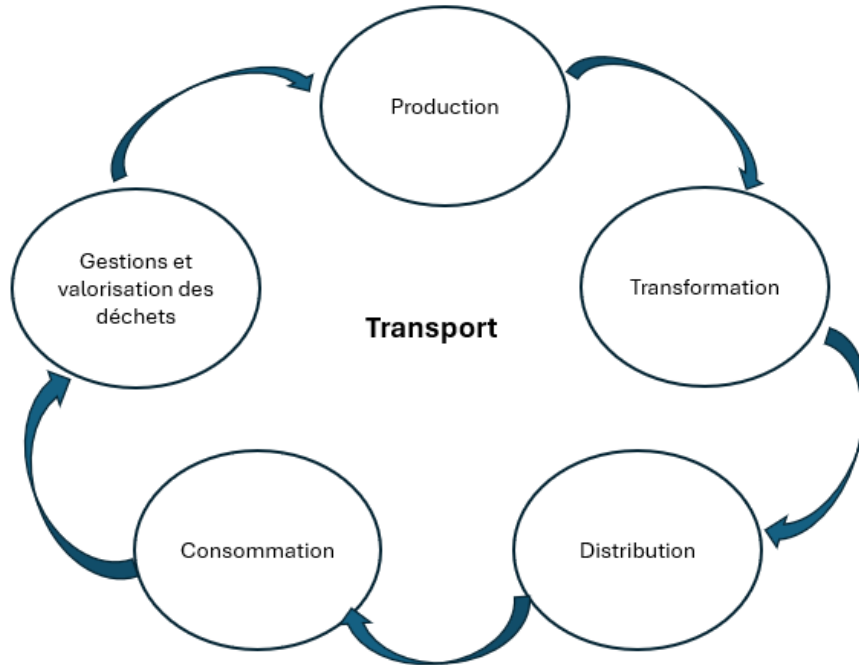


Figure 1.3 Le système alimentaire durable

La Figure 1.3 illustre le cycle du système alimentaire, mettant en évidence les différentes étapes clés impliquées dans la chaîne de production et de consommation des aliments. Il commence par la production agricole, où les matières premières sont cultivées, suivies par la transformation, qui consiste à traiter et transformer ces matières premières en produits finis. Ces produits sont ensuite acheminés vers la phase de distribution, où ils sont vendus dans des marchés ou des commerces. La consommation représente l'étape où les consommateurs achètent et utilisent ces produits alimentaires. Enfin, la gestion et valorisation des déchets inclut le recyclage ou la transformation des déchets alimentaires pour minimiser leur impact environnemental. Le transport, situé au centre de l'illustration, joue un rôle transversal en reliant chaque étape et en permettant la circulation des denrées alimentaires à travers le cycle. Cette figure met en avant l'interconnexion entre les différentes étapes pour promouvoir un système alimentaire durable.

1.1.2 Moisson Laurentides

Moisson Laurentides¹ approvisionne 120 organismes œuvrant dans la sécurité alimentaire de la région. En tant que hub central, il coordonne la réception, le stockage et la distribution des denrées alimentaires à travers son vaste réseau. Cette organisation joue un rôle crucial en veillant à ce que les organismes partenaires puissent accéder à des denrées de qualité pour répondre aux besoins alimentaires variables des personnes vulnérables dans la région. Les opérations d'approvisionnement sont réalisées auprès de plus de 300 fournisseurs répartis sur plusieurs Municipalités Régionales de Comté (MRC) et dans deux régions : la région des Laurentides (Thérèse-De Blainville, Rivière-du-Nord, Laurentides, Mirabel, Argenteuil, Deux-Montagnes, Antoine-Labelle, Pays d'en haut), et les autres régions (Laval, Montréal, Les Moulins, Anjou, Comtés unis de Prescott et Russell, Marguerite-D'Youville, Montcalm, Rivière-des-Prairies, Lévis).

En 2019, le projet de chantier sur le transport durable des denrées alimentaires fut lancé (**CBL, 2019**). L'objectif était de mettre en commun les activités logistiques afin de répondre aux besoins de la clientèle de manière proactive tout en réduisant les charges directes et indirectes du transport.

Le plan logistique et de transport durable des denrées a optimisé le réseau logistique de 21 organismes en confiant les opérations de transport à un transporteur privé. Ce dernier possède un camion de 28 pieds, utilisé à pleine capacité (100 %), et répartit ses opérations de livraison sur quatre jours par semaine :

- 2 cueillettes le lundi couvrent la MRC de Thérèse-De Blainville et de Rivière-du-Nord.
- 3 cueillettes le mardi couvrent la MRC de Thérèse-De Blainville et de Rivière-du-Nord.
- 1 cueillette le mercredi couvre la MRC d'Antoine-Labelle

¹ <https://moissonlaurentides.org/>

- 2 cueillettes le jeudi couvrent la MRC de Thérèse-De Blainville et de Rivière-du-Nord.

Les collectes de denrées alimentaires nécessitent que le camion fasse des allers-retours à Moisson Laurentides tout au long de la journée pour être chargé, en raison de sa capacité limitée. Aucune collecte ou livraison n'est réalisable le vendredi, le samedi et le dimanche. L'horaire de livraison des denrées alimentaires est préétabli, ce qui signifie que le transporteur privé effectue ses tournées en fonction de cet horaire. Ces 21 organismes sont répartis dans 4 municipalités régionales de comté (MRC) différentes : six dans la MRC Thérèse-De Blainville, douze dans la MRC Rivière-du-Nord, six dans la MRC d'Antoine-Labelle et un dans la MRC de Mirabel. Les denrées alimentaires distribuées sont classées en 3 catégories : les produits secs, les produits réfrigérés (fruits et légumes, produits de boulangerie, produits laitiers, viande et substituts) et les produits congelés.

1.2 Les enjeux du transport

Le secteur du transport routier, élément fondamental de l'économie canadienne, est confronté à une série de défis interconnectés qui compliquent sa capacité à répondre aux exigences croissantes du marché. Parmi les enjeux majeurs, le rapport 2023 du CISSS des Laurentides (CIUSS, 2023) met en évidence les défis démographiques et socioéconomiques auxquels font face les MRC, ayant un impact direct sur le secteur bioalimentaire et la logistique du transport. La croissance démographique, en particulier celle des personnes âgées de 65 ans et plus, entraîne une augmentation significative de la demande en produits alimentaires, tandis que la migration des jeunes adultes et la pénurie de main-d'œuvre qualifiée accentuent ces défis. Par ailleurs, l'inflation persistante depuis 2020 aggrave cette situation, affectant particulièrement les jeunes travailleurs. Dans le secteur du transport routier, ces enjeux se traduisent par une pénurie critique de chauffeurs, exacerbée par la pandémie de COVID-19 en 2020, exerçant ainsi une pression accrue sur la chaîne logistique. Une analyse détaillée de ces éléments est disponible en **Annexe A**.

Simultanément, le secteur fait face à des enjeux logistiques et opérationnels significatifs. La congestion routière et les conditions climatiques extrêmes, notamment les hivers rigoureux, allongent les délais de livraison et rendent les opérations moins fluides. Ces difficultés entraînent des retards et augmentent le risque de détérioration des produits, soulignant ainsi la nécessité d'optimiser les itinéraires et d'améliorer les infrastructures de transport afin de garantir la continuité et la fiabilité des services de distribution.

À ces défis opérationnels s'ajoute un enjeu environnemental majeur : les émissions de CO₂ dues à l'utilisation des camions lourds et légers. Ce secteur est l'un des plus grands contributeurs aux émissions de gaz à effet de serre, aggravant ainsi les problèmes liés au réchauffement climatique et à la qualité de l'air. Selon **ECCC (2023)** les émissions de CO₂ ont augmenté de 27 % entre 1990 et 2021. En 2019, le transport routier représentait 79,4 % des émissions totales du secteur des transports. Afin de réduire cet impact, il devient indispensable d'adopter des technologies plus écologiques et d'optimiser la gestion des tournées pour limiter la consommation de carburant, répondant ainsi aux exigences environnementales et économiques du secteur.

Par ailleurs, la gestion des entrepôts représente un enjeu crucial pour le bon fonctionnement de la chaîne logistique. Une gestion inefficace des stocks et des installations de stockage peut engendrer des retards importants, des coûts accrus et une distribution moins fiable des produits. Pour pallier ces difficultés, l'intégration de technologies modernes, telles que des systèmes de gestion des stocks et des logiciels d'optimisation, devient essentielle afin de garantir une meilleure transparence et fluidité des flux de produits.

Enfin, les défis économiques et financiers liés au secteur du transport routier ne sont pas négligeables. Les coûts d'infrastructure, l'entretien des véhicules, les dépenses en carburant et l'impact écologique du transport sont autant de facteurs qui affectent la rentabilité des entreprises du secteur. Une gestion rigoureuse de ces coûts, alliée à une optimisation des processus logistiques et à l'adoption de pratiques durables, est cruciale pour assurer la compétitivité du secteur tout en répondant aux attentes sociales et environnementales croissantes.

1.3 Problématique de recherche : la situation actuelle du réseau de transport dans la région des Laurentides

La région des Laurentides fait face au vieillissement de sa population, ce qui entraîne une pénurie de main-d'œuvre et une diminution du bassin de bénévoles. Le CBL cherche ainsi à offrir un support aux membres pour effectuer les diverses tâches liées au transport. Cette carence en ressources humaines touche notamment les postes de chauffeurs, surtout pour les trajets de longue distance, ainsi que le personnel des entrepôts, entre autres. Les ressources matérielles ne sont pas épargnées, avec la hausse des prix des camions et les retards de livraison des équipements après la pandémie.

Parmi les membres de Moisson Laurentides, 21 organismes ont externalisé leurs opérations de transport à un transporteur privé disposant d'un camion de 26 pieds, assurant la livraison des marchandises selon un horaire établi du lundi au jeudi. Cette dépendance vis-à-vis du prestataire de services signifie qu'en cas d'interruption ou de fermeture imprévue du service, ces organisations risquent de ne plus recevoir leurs denrées alimentaires à temps, entraînant ainsi une rupture de la chaîne d'approvisionnement. La capacité limitée du camion oblige le chauffeur à retourner plusieurs fois au dépôt pour récupérer les marchandises avant de terminer sa tournée, ce qui l'amène parfois à circuler partiellement chargé, voire à vide. Cette inefficacité logistique accroît les émissions de gaz à effet de serre, ralentit les livraisons en flux tendu et réduit la durée de vie du véhicule. De plus, aucune livraison n'est effectuée les lundis et mardis après-midi, et le mercredi, la tournée ne peut être complétée dans la matinée. Moisson Laurentides pourrait, par exemple, exploiter le vendredi pour alléger celle du jeudi.

Face à un réseau de transport non consolidé et à des trajets non optimisés, la région des Laurentides pourrait être confrontée à des inefficacités opérationnelles, à des coûts logistiques élevés et à une baisse du niveau de service. Une analyse descriptive serait donc pertinente pour mieux comprendre la dynamique du réseau logistique et exploiter des outils d'aide à la décision afin d'optimiser le processus de livraison des denrées alimentaires. L'analyse logistique de la région des Laurentides met en évidence l'intérêt

d'explorer la complémentarité entre la simulation et l'optimisation, à travers une revue de la littérature illustrant leur application dans divers domaines.

1.4 Question de recherche

Ce mémoire de maîtrise cherche à aborder les problèmes et les enjeux du réseau de transport du Carrefour bioalimentaire des Laurentides, par la formulation de la question de recherche globale suivante :

La conception d'un réseau de transport mutualisé, efficient et écoresponsable peut-elle être défendue comme une stratégie pertinente dans le cadre du secteur bioalimentaire des Laurentides, et quels sont les retombées économiques potentielles d'un transport partagé dans ce contexte ?

En d'autres termes, ce mémoire vise à proposer une alternative au transport individuel afin de réduire les problèmes liés à la situation actuelle, mentionnés dans la **section 1.1**. Les études sur la planification des tournées collectives, utilisant la simulation et l'optimisation comme outils de résolution, sont particulièrement rares. Ces deux méthodes sont généralement appliquées à d'autres domaines, notamment dans le secteur de la santé, où elles sont utilisées pour optimiser la chaîne d'approvisionnement. L'intégration de méthodes analytiques, de modèles de simulation et d'autres approches permet d'obtenir des résultats plus robustes et adaptatifs, en particulier lorsqu'il s'agit de problèmes complexes et dynamiques.

Pour répondre à la question générale évoquée précédemment, il est nécessaire d'aborder les deux sous-questions suivantes :

1. Quelles sont les approches de modélisation utilisées actuellement pour traiter les problèmes à grande échelle?

2. Pour résoudre le problème de transport CBL, faut-il privilégier une approche analytique, opter pour un modèle de simulation, ou combiner les deux méthodes pour une solution optimale ?

1.5 Objectifs de recherche

L'objectif principal de ce projet de mémoire est d'apporter un soutien à l'organisme CBL dans sa démarche de concertation pour la planification d'un nouveau réseau logistique de transport. Ce réseau a pour objectif d'être intégré à l'échelle régionale dans le secteur bioalimentaire, en mettant l'accent sur la mutualisation des ressources, l'efficacité économique et l'écoresponsabilité.

La situation actuelle se caractérise par une surexploitation des ressources et des déplacements de camions partiellement chargés ou vides. Dans ce contexte, la mutualisation des ressources est essentielle pour concevoir un flux de transport intégrant les activités des entreprises de la région des Laurentides. Ce projet de recherche vise ainsi à développer un outil d'aide à la décision pour optimiser la planification du transport mutualisé.

De cet objectif global découlent trois sous-objectifs, correspondant aux questions de recherche énumérées dans la section précédente :

1. Sous-objectif 1 : Établir une revue de littérature pour identifier les options d'intégration des outils d'optimisation et de simulation, et positionner également le sujet de recherche dans le domaine de la recherche opérationnelle appliquée à la planification du transport.

Le chapitre 2 sera consacré à la réalisation de cet objectif spécifique, avec un examen critique des contributions des chercheurs aux outils d'aide à la décision.

2. Sous-objectif 2 : Comprendre la dynamique du réseau de transport des denrées alimentaires jusqu'aux clients, afin de définir les besoins qui devront être satisfaits par le nouveau réseau.

La collecte de données quantitatives permettra de saisir le déroulement des opérations logistiques de l'organisme CBL. Pour ce faire, un sondage sera mené auprès des membres et des non-membres, et des informations supplémentaires seront préalablement recueillies auprès de l'agente de commercialisation du CBL.

3. Sous-objectif 3 : Développer des modèles d'optimisation et un modèle de simulation de base reproduisant la situation actuelle du réseau de transport dans la région des Laurentides.

Les données recueillies ainsi que le résultat des modèles d'optimisation (le modèle d'affectation et le modèle du pick up and delivery) seront utilisées comme données d'entrée pour le modèle de simulation. Ce modèle reproduira fidèlement les tournées de livraison indépendante actuellement en place, assurant ainsi que la simulation reflète fidèlement la réalité du système actuel.

4. Sous-objectif 4 : Proposer un réseau logistique de transport mutualisé optimal en utilisant une approche hybride qui combine l'optimisation et la simulation.

Cette recherche apporte une double contribution, combinant une avancée méthodologique significative et des retombées économiques concrètes pour le secteur bioalimentaire des Laurentides. Sur le plan méthodologique, elle propose une approche intégrée des techniques de simulation et d'optimisation logistique, adaptées aux spécificités et aux défis propres à cette région. Bien que couramment appliqués dans d'autres secteurs, ces outils permettent ici d'analyser les dynamiques logistiques complexes et de concevoir des solutions efficaces pour répondre aux inefficiences opérationnelles identifiées. Cette approche méthodologique enrichit les pratiques logistiques actuelles et constitue une référence applicable à d'autres contextes et projets futurs.

Les retombées économiques issues de ces méthodologies sont également significatives. Elles incluent une réduction des coûts logistiques grâce à l'optimisation des tournées et des flux, une meilleure gestion des ressources humaines et matérielles, rendue possible par l'utilisation de technologies adaptées, et une diminution des inefficiences opérationnelles, favorisant ainsi une augmentation de la productivité. De plus, en éliminant les trajets inutiles et en réduisant les émissions de CO₂, cette approche contribue à une réduction de l'impact environnemental et à une logistique plus durable. Enfin, des livraisons plus rapides et fiables améliorent la qualité du service, renforçant la satisfaction et la fidélisation des partenaires et des clients.

En conclusion, la contribution méthodologique constitue le socle des retombées économiques, démontrant qu'une approche scientifique rigoureuse et l'utilisation d'outils innovants peuvent générer des impacts concrets et durables. Ce projet illustre ainsi l'importance et la pertinence de cette recherche dans un contexte à la fois pratique et académique.

La planification des tournées optimales sera proposée par l'outil d'optimisation. L'outil de simulation permettra de tester ces tournées en intégrant la dimension stochastique, en intégrant la variabilité des demandes et des temps de transport. Plusieurs scénarios seront roulés afin d'arriver à une proposition qui réponde à l'objectif fixé. Cette partie sera abordée dans le chapitre 4.

Ce mémoire se distingue par son approche innovante, bien qu'il traite d'un sujet classique d'optimisation des tournées. L'originalité réside dans le contexte de mutualisation des réseaux de transport, permettant à différents acteurs de partager leurs ressources pour réduire les coûts, limiter les émissions de CO₂ et améliorer l'efficacité logistique. Ce concept répond aux enjeux actuels de durabilité et d'optimisation des ressources. De plus, ce travail combine des outils d'optimisation mathématique (comme Gurobi) et de simulation dynamique (AnyLogic), offrant une analyse précise des tournées et une évaluation réaliste des solutions dans des environnements incertains. Cette approche hybride permet de dépasser les limites des méthodes traditionnelles en intégrant des variables complexes et stochastiques. Enfin, ce projet propose une

méthodologie intégrée qui relie théorie et pratique. Les solutions développées sont non seulement robustes, mais aussi directement applicables pour améliorer les performances logistiques tout en respectant les objectifs environnementaux. Cette combinaison de mutualisation, d'optimisation et de simulation place ce travail comme une avancée notable dans le domaine de la logistique durable. Le **Tableau 1.1** ci-dessous présente les sections principales du mémoire, détaillant les objectifs de recherche, les sous-objectifs spécifiques ainsi que les contributions méthodologiques et économiques associées à l'étude d'un réseau de transport mutualisé dans le secteur bioalimentaire des Laurentides.

Tableau 1.1 Présentation des objectifs, questions de recherche et des contributions de la recherche

Section	Description
1. Question de recherche	Ce mémoire explore la faisabilité d'un réseau de transport mutualisé, efficient et écoresponsable dans le secteur bioalimentaire des Laurentides, et évalue ses retombées économiques et écologiques.
2. Objectifs de recherche	L'objectif principal est d'accompagner l'organisme CBL dans la planification d'un réseau logistique mutualisé, régional et durable pour le secteur bioalimentaire, en visant l'optimisation des ressources et la réduction des coûts. Autrement dit, il s'agit de proposer une alternative au transport autonome afin de remédier aux problèmes identifiés dans la situation actuelle
A- Sous-objectif 1 : Revue de littérature	Réaliser une revue de la littérature sur l'intégration des outils d'optimisation et de simulation dans la logistique du transport, afin de positionner le sujet dans le domaine de la recherche opérationnelle appliquée à ce secteur.
B- Sous-objectif 2 : Collecte de données	Analyser la dynamique actuelle du réseau de transport alimentaire en recueillant des données quantitatives par sondage auprès des membres du CBL et en obtenant des informations complémentaires de l'agente de commercialisation.
C- Sous-objectif 3 : Modélisation du réseau	Développer 2 modèles d'optimisations et un modèle de simulation de base pour reproduire fidèlement la situation actuelle du réseau de transport, en utilisant les données collectées. Le modèle servira à analyser les inefficiences et les points d'amélioration.
D- Sous-objectif 4 : Proposition du réseau optimal	Proposer un réseau logistique de transport mutualisé optimal en utilisant une approche hybride combinant optimisation et simulation pour maximiser l'efficacité du transport tout en respectant les objectifs économiques et environnementaux.
3. Contribution méthodologique et économique	Cette recherche combine optimisation et simulation pour aborder des problèmes logistiques complexes, avec des retombées économiques significatives : réduction des coûts, diminution des émissions de CO ₂ , meilleure gestion des ressources et amélioration de la qualité du service, contribuant ainsi à une logistique durable.

1.6 Plan du projet

Afin de répondre aux objectifs et aux questions de recherche, ce mémoire s'articule autour des sections suivantes : le chapitre 2 propose une revue de la littérature

consacrée à l'hybridation de la simulation et de l'optimisation dans divers domaines d'activité. Le chapitre 3 expose la méthodologie de recherche adoptée pour la conception du réseau de transport mutualisé du CBL, en détaillant notamment le processus de collecte des données. Le chapitre 4 présente le développement des modèles d'optimisation, comprenant un modèle d'affectation et un modèle de routage pour la cueillette et la livraison. Il introduit également deux modèles de simulation : l'un non mutualisé et l'autre mutualisé, ce dernier intégrant les tournées optimales et permettant d'évaluer leur impact à travers différents scénarios. Le chapitre 5 conclut l'étude en mettant en perspective les contributions apportées, tout en formulant des recommandations pour d'éventuels axes de recherche futurs.

Cette structure vise à assurer une progression logique et cohérente de l'analyse, tout en soulignant les implications méthodologiques et les apports scientifiques du travail réalisé.

CHAPITRE 2

Revue de littérature

L'hybridation de la simulation et de l'optimisation est un sujet largement étudié par les chercheurs au cours des dernières années, et ce dans plusieurs domaines. Ce chapitre vise à examiner leur intégration dans le contexte spécifique du transport et de la logistique.

Avant de procéder à la revue de littérature, nous allons présenter dans une première partie un sommaire du cadre théorique utilisé dans ce projet, notamment ce qui concerne la simulation et l'optimisation.

2.1 Cadre théorique

La simulation est un outil fondamental pour l'étude des systèmes complexes dans divers domaines tels que les sciences naturelles et sociales, l'économie et l'ingénierie. Elle repose sur la modélisation numérique des composantes essentielles d'un système réel, où les interactions, souvent non linéaires, évoluent dans un environnement dynamique soumis à des aléas. Dans les sciences naturelles, elle est utilisée pour analyser des phénomènes tels que la propagation des maladies ou le changement climatique. En économie, elle permet d'évaluer l'impact des politiques sur les marchés en tenant compte de la complexité des interactions entre les acteurs. En ingénierie, elle joue un rôle clé dans l'optimisation et la validation des structures et infrastructures avant leur mise en œuvre.

2.1.1 Approche de modélisation par simulation

La simulation est un concept aux multiples facettes dont la définition varie selon le domaine d'application. Cette diversité s'explique par la spécificité des objectifs, la nature des systèmes étudiés et les approches méthodologiques employées. Selon le cadre disciplinaire, elle peut être envisagée comme une méthode d'expérimentation virtuelle, un levier d'optimisation des processus ou un outil prédictif, en fonction des exigences épistémologiques et opérationnelles propres à chaque champ d'étude.

Tableau 2.1 La simulation dans les divers domaines d'activité

Domaine d'activité	Définition du terme de simulation	Autres références
Simulation en santé	« La simulation en santé est un outil éducatif fondé sur des preuves, permettant d'enseigner et d'évaluer des compétences dans des environnements reproduisant la réalité clinique » (Motola et al., 2013)	(Gaba, 2004), (Barry et al., 2005), (Bradley, 2006), (Rosen et al., 2008), (Flin et O'Connor, 2017) ; (Kneebone, 2003); (Dieckmann et al., 2007)
Simulation en ingénierie	« La simulation en ingénierie est une méthode d'expérimentation numérique qui permet de comprendre et d'améliorer les systèmes complexes sans avoir à les construire ou à les modifier physiquement » (Law et Kelton, 2007)	(Banks, 2005) , (Fishman, 2001), (Sargent, 2010), (Kleijnen, 1995), (Zienkiewicz et Taylor, 2005), (Shapiro, 2002), (Belytschko et al., 2014)
Simulation en économie	« La simulation en économie étudie les comportements collectifs et les écarts par rapport à la rationalité traditionnelle à travers des approches computationnelles » (Kirman, 2010)	(Tsfatsion et Judd, 2006), (Kononovicius et Daniunas, 2013), (Hamill et Gilbert, 2015), (Daniunas et al., 2011), (Gatti et al., 2011), (Brusatin et al., 2024)
Simulation en environnement	« La simulation dans le domaine environnemental englobe la modélisation des interactions entre le climat, les écosystèmes et les activités humaines pour comprendre et prédire les impacts du changement climatique. » (Bonan, 2015)	(Schaldach et al., 2011), (Grimm et Railsback, 2012), (Verburg et al., 2015), (Liu et al., 2013), (Schmidt-Lainé et Pave, 2002)
Simulation en éducation	« La simulation en éducation permet de recréer des environnements réalistes qui favorisent l'apprentissage pratique, la sécurité et la confiance des apprenants. » (Lateef, 2010)	(Dieckmann et al., 2009), (Cook et al., 2011), (Nestel et Bearman, 2014), (Blake et Scanlon, 2007), (Dede, 2009)
Simulation en logistique et transport	« La simulation en logistique est un outil clé pour analyser les performances des chaînes d'approvisionnement et identifier les inefficacités ». (Bowersox et al., 2020)	(Bonabeau, 2002), (Dekker et al., 2013), (Caris et al., 2013), (Jahangirian et al., 2010)

Le **Tableau 2.1** présente différentes définitions de la simulation selon divers domaines (santé, ingénierie, économie, environnement, éducation), accompagnées de références clés propres à chaque contexte.

La simulation, en intégrant une multitude de paramètres et en modélisant des interactions complexes au sein d'un environnement dynamique, représente un outil essentiel pour explorer divers scénarios et anticiper les résultats possibles, facilitant ainsi une prise de décision éclairée. Ce processus s'appuie sur des technologies informatiques avancées, capables de traiter d'importants volumes de données et d'exécuter des calculs sophistiqués, permettant aux chercheurs et aux décideurs d'approfondir leur compréhension des systèmes étudiés. Grâce à des logiciels spécialisés, les gestionnaires peuvent évaluer différentes hypothèses et identifier les solutions les plus pertinentes selon les enjeux auxquels ils font face. Trois grandes approches de modélisation sont couramment utilisées : la modélisation basée sur les agents (Agent-Based Modeling, ABM), la simulation par événements discrets (Discrete-Event Simulation, DES) et la dynamique des systèmes (System Dynamics, SD) (**Borshchev, 2013**).

A. Modélisation par l'approche ABM

ABM repose sur l'attitude et le comportement des agents dans le système (**Macal et North, 2005**). Les agents sont répartis en plusieurs catégories, à savoir mobile, statique et dynamique : des personnes ou agents mobiles (consommateurs, employés, clients, patients), des véhicules (camions, avions, trains), des éléments non matériels (produits, projets, investissements), etc. La simulation permet de communiquer les relations entre les agents, et leur position dans l'espace.

B. Modélisation par l'approche DES

DES est utilisée pour modéliser un système complexe en reproduisant le flux d'opérations dans un domaine spécifique. Il est largement appliqué à la recherche opérationnelle et peut être utilisé pour concrétiser des activités par le biais d'animations.

Cette approche nécessite une collecte de données exhaustive, puisqu'elle implique la définition de diverses données d'entrée du modèle, telles que les paramètres, les variables, les ressources, etc. (**Brailsford et Hilton, 2001**). Le DES est appliqué dans divers domaines, et particulièrement en logistique, chaîne d'approvisionnement, soin de santé, etc. ; il sert par exemple à contrôler un inventaire, optimiser une file d'attente dans un magasin ou un flux de transport routier, etc. (**Manuj et al., 2009**); en modélisant les événements qui surviennent au fil de temps.

C. Modélisation par l'approche SD

La troisième approche de modélisation est le SD, qui est une méthode de modélisation et de simulation utilisée pour comprendre et analyser les comportements complexes dans les systèmes dynamiques, où des interactions non linéaires, des boucles de rétroaction, et des délais rentrent en jeu. Il consiste à établir un lien entre les modèles quantitatifs et les modèles qualitatifs (**Shepherd, 2014**). Cette méthodologie s'avère particulièrement pertinente dans des contextes tels que la fluctuation de la demande, les crises économiques, la gestion des ressources naturelles ou encore la planification urbaine. Adaptée aux problématiques stratégiques de grande envergure, elle permet de modéliser des interdépendances systémiques sur des horizons temporels étendus, en mettant l'accent sur la dynamique globale plutôt que sur des processus opérationnels spécifiques.

Pour ce faire, nous avons opté pour des approches de modélisation à événements discrets et à base d'agents, qui seront utilisées pour dresser un portrait de la logistique et du transport dans la région des Laurentides.

2.1.2 Approche de modélisation par optimisation

L'optimisation en recherche opérationnelle est une branche des mathématiques appliquées qui se concentre sur la maximisation ou la minimisation d'une fonction objective sous un ensemble de contraintes. Elle est utilisée pour trouver la meilleure solution possible à un problème donné, tout en respectant les contraintes liées aux ressources disponibles, telles que le temps, l'argent ou la capacité. L'optimisation peut

être appliquée à la gestion des ressources, à la planification, à la production, à la logistique et aux systèmes de transport. Les problèmes d'optimisation sont souvent formulés sous forme de programmes linéaires ou non linéaires, mais ils peuvent également inclure des contraintes discrètes dans des problèmes combinatoires. Dans l'optimisation des réseaux de transport, plusieurs algorithmes permettent de résoudre des problèmes complexes, l'objectif étant généralement de minimiser les coûts ou d'optimiser l'utilisation des ressources tout en respectant diverses contraintes, telles que la capacité de stockage, les délais de livraison et les distances parcourues. Ces algorithmes, couvrant différents modèles d'optimisation, sont essentiels pour améliorer l'efficacité et la performance des systèmes de transport.

Par exemple, on retrouve l'algorithme Simplex², l'algorithme de Branch and Bound, les algorithmes génétiques et la recherche taboue.

2.1.3 Approche hybride : intégration de la simulation et l'optimisation

Dans cette partie, nous présenterons les quatre structures hiérarchiques du problème, qui représente les différentes relations entre la simulation et l'optimisation :

a. ASO (Alternative Simulation-optimisation) - Amélioration du modèle analytique :

L'ASO combine deux techniques puissantes, la simulation et l'optimisation, afin d'améliorer la prise de décision dans des systèmes complexes. La simulation permet de mieux comprendre le fonctionnement du système. Prenons l'exemple d'une usine dont nous cherchons à améliorer la production. La simulation permet de créer un modèle virtuel de l'usine qui imite son fonctionnement réel : comment les machines opèrent, comment les employés interagissent et où peuvent survenir des retards ou des pertes de

² L'algorithme du Simplex repose sur le principe de déplacement d'une solution optimale le long des arêtes du polytope des solutions réalisables. En optimisant des fonctions linéaires sous contraintes linéaires, cet algorithme est particulièrement efficace pour le problème de transport. L'objectif dans ce cas est de minimiser les coûts de transport des biens entre plusieurs points (usines, entrepôts, clients) tout en respectant les contraintes de capacité et de demande.

temps. Elle intègre l'incertitude et la variabilité des événements, tels que les pannes de machines ou les fluctuations de la demande. L'optimisation intervient pour identifier la meilleure solution. Une fois que la simulation montre comment le système fonctionne, des algorithmes d'optimisation sont utilisés pour ajuster certains paramètres et améliorer les résultats. Par exemple, différentes configurations de production peuvent être testées afin de réduire les coûts ou d'augmenter la productivité. Des algorithmes tels que les algorithmes génétiques ou la recherche taboue permettent d'optimiser ces paramètres. Ce processus est itératif : il alterne entre simulation et optimisation afin d'affiner les résultats. Chaque nouvelle simulation intègre les améliorations proposées par l'optimisation, jusqu'à l'obtention d'une solution proche de l'idéal. Prenons l'exemple d'une entreprise de livraison souhaitant réduire le temps de trajet de ses camions. La simulation permet de tester différentes tournées en tenant compte du trafic, des arrêts et des délais possibles. Ensuite, un algorithme d'optimisation propose les meilleures tournées en fonction des résultats obtenus. Ce processus est répété jusqu'à l'obtention d'une tournée optimisée.

En résumé, l'ASO est une méthode permettant de tester différentes solutions et d'ajuster progressivement les paramètres afin d'atteindre les meilleurs résultats possibles. Elle est utilisée dans de nombreux domaines, tels que la gestion de la production, la logistique ou encore la planification des ressources.

b. SOI (Simulation avec Itérations basées sur l'Optimisation) - Génération de solution :

L'approche SOI repose sur un processus en boucle où une solution est testée, améliorée et optimisée en continu, afin d'optimiser les performances d'un système complexe. Elle commence par la création d'une simulation réaliste du système étudié (ex. : une usine, un réseau de transport, une chaîne logistique). Ce modèle peut être ajusté afin d'intégrer différents scénarios et imprévus. Par exemple, une entreprise cherchant à optimiser sa chaîne de production crée un modèle qui intègre le fonctionnement des machines, la gestion du personnel et les délais de fabrication. Une première optimisation est effectuée afin d'identifier des pistes d'amélioration selon différents critères de

performance (ex. : réduction des coûts, amélioration de l'efficacité, limitation des pertes). Des techniques d'optimisation, telles que les algorithmes génétiques, sont utilisées afin de tester plusieurs combinaisons et d'identifier des solutions viables. Par exemple, dans une chaîne logistique, cette étape peut permettre de proposer différents itinéraires pour réduire les délais de livraison. Une fois testées en simulation, les solutions sont évaluées afin de vérifier si elles répondent aux objectifs fixés. Si ce n'est pas le cas, les paramètres sont ajustés et une nouvelle optimisation est lancée. Ce cycle est répété autant de fois que nécessaire, jusqu'à l'obtention d'une solution optimisée et robuste. Par exemple, une entreprise ajuste les horaires de ses camions en fonction des embouteillages observés lors des simulations, puis teste à nouveau jusqu'à obtenir une planification optimale. En résumé, la SOI est une méthode dynamique qui utilise la simulation pour comprendre un système, puis l'optimisation pour l'améliorer progressivement. Elle est particulièrement utile dans des domaines où l'adaptabilité et la performance sont essentielles.

c. SSO (Simulation-optimisation séquentielle) - Construction d'un modèle de substitution :

L'approche SSO consiste à optimiser un système progressivement, en alternant entre simulation et optimisation. À chaque étape, la simulation fournit des données permettant d'affiner les paramètres du système jusqu'à l'obtention d'une solution optimale. Elle commence par la construction d'une réplique virtuelle du système étudié (ex. : une usine, un réseau de transport, un hôpital). Ce modèle prend en compte les éléments essentiels tels que les délais, les capacités et les contraintes opérationnelles. Par exemple, une entreprise de logistique simule son réseau de livraisons afin d'identifier les sources de retard. Une fois la simulation réalisée, les facteurs ayant le plus d'impact sur la performance sont identifiés (ex. : vitesse de production, temps de trajet, répartition des ressources). Des algorithmes d'optimisation, tels que les algorithmes génétiques, la recherche taboue et la programmation linéaire, sont utilisés pour proposer des ajustements qui améliorent le système. Par exemple, l'entreprise ajuste les itinéraires et les horaires de ses camions afin de minimiser les délais de livraison. Le processus repose sur un principe fondamental : tester et améliorer

progressivement. La nouvelle configuration est testée dans une nouvelle simulation afin d'évaluer son efficacité. Si le résultat n'est pas satisfaisant, les paramètres sont ajustés à nouveau, et le processus est répété jusqu'à l'obtention d'une solution optimale. En résumé, la SSO est une approche séquentielle et progressive qui combine simulation et optimisation afin de déterminer la meilleure configuration possible d'un système. En répétant ce processus jusqu'à l'obtention d'une solution optimisée, cette approche permet une meilleure gestion de la complexité et de l'incertitude.

d. OSI (Optimisation avec itérations basées sur la simulation) - Fonction d'évaluation:

L'OSI est une approche qui combine optimisation et simulation pour améliorer progressivement une solution. Son principe est simple : tester, évaluer et ajuster jusqu'à obtenir la meilleure solution possible. Un algorithme d'optimisation (comme un algorithme génétique ou une programmation linéaire) génère une première solution en fonction d'un objectif précis, comme réduire les coûts, améliorer l'efficacité ou maximiser un rendement. Par exemple, dans un centre d'appels, un algorithme génère une planification optimale pour répartir les agents en fonction des prévisions d'appels. Cette solution est ensuite simulée pour voir comment elle fonctionne dans des conditions réelles. La simulation prend en compte les variations et les imprévus (ex. : pics d'appels, temps de réponse des agents). La planification est testée dans une simulation où le volume d'appels fluctue tout au long de la journée, avec des clients ayant différents niveaux de patience. Les performances de la solution sont analysées à l'aide de KPIs. Si la solution fonctionne bien, elle est validée. Sinon, des ajustements sont faits pour corriger les problèmes détectés. Supposons que la simulation révèle que certains créneaux horaires manquent de personnel, ce qui entraîne de longs temps d'attente pour les clients. L'algorithme d'optimisation est ajusté en fonction des résultats de la simulation, et une nouvelle solution est générée. Ce processus est répété plusieurs fois, jusqu'à obtenir une solution qui répond aux objectifs fixés. En résumé, l'OSI est une approche intelligente et adaptative, qui combine optimisation et simulation pour améliorer progressivement un système. En testant et ajustant les

solutions de manière itérative, elle permet de trouver l'équilibre parfait entre performance et coût.

Nous avons réalisé une comparaison entre les quatre approches hybrides de simulation et d'optimisation (ASO, SSO, SOI, OSI) en mettant en évidence leurs processus, interactions, types de modèles, utilisations et exemples d'applications (Voir **Annexe B**)

« La recherche opérationnelle est une collection de techniques, issue des champs des mathématiques appliquées, destinée à représenter des situations où un ou plusieurs acteurs ont un certain nombre de choix à effectuer, et à guider ces acteurs dans leur décision de façon qu'ils satisfassent au mieux un ou plusieurs critères tout en respectant un ensemble de contraintes prédéfinies » (**Nakhla et Moisdon, 2010**).

Lorsque l'on aborde des problèmes d'optimisation, tels que ceux rencontrés dans la logistique ou la gestion de la chaîne d'approvisionnement, il existe différentes approches pour trouver des solutions efficaces. Ces approches se répartissent en trois grandes catégories : les méthodes heuristiques (HE), les méthodes exactes (E) et les métaheuristiques (ME). Chacune de ces méthodes possède des caractéristiques uniques en termes de rapidité, de précision et de capacité à traiter des problèmes complexes. Le choix de la méthode dépend souvent d'objectifs spécifiques, de contraintes de temps et d'exigences de qualité de la solution. Nous avons ainsi établi un aperçu des trois méthodologies de résolution du problème d'optimisation (Voir **Annexe B**)

- **HE** est une méthode d'approximation conçue pour résoudre des problèmes d'optimisation complexes en trouvant rapidement des solutions acceptables, sans garantir qu'elles soient optimales. Les heuristiques s'appuient sur des règles pratiques ou des stratégies spécifiques pour simplifier le processus de résolution, en sacrifiant l'exactitude pour gagner en efficacité. Elles sont particulièrement utiles dans des contextes où les contraintes de temps ou de ressources rendent les approches exactes impraticables, comme dans la planification de la production, l'ordonnancement des tâches ou l'optimisation des tournées logistiques. Voici quelques exemples des

méthodes heuristiques : Nearest Neighbor³, Tabu Search, Greedy Algorithms⁴, Savings Heuristic⁵, Insertion Heuristics⁶, etc.

- **E** est une approche ou un algorithme qui garantit de trouver la solution optimale à un problème d'optimisation, en respectant toutes les contraintes et conditions définies. Ces approches reposent sur des techniques mathématiques rigoureuses, telles que la programmation linéaire, les algorithmes de branch-and-bound⁷ et la programmation dynamique. Elles sont particulièrement utilisées lorsque le problème est bien structuré et de taille raisonnable. Bien qu'elles offrent des résultats précis, les méthodes exactes peuvent devenir impraticables pour des problèmes de grande complexité en raison de leur coût computationnel élevé.

- **ME** est une méthode algorithmique utilisée pour résoudre des problèmes d'optimisation complexes liés à la planification, à l'allocation des ressources, ou à l'amélioration des processus opérationnels. Ces méthodes permettent de trouver des solutions viables dans des contextes où les contraintes et les variables sont nombreuses, et où les approches exactes deviennent trop coûteuses en termes de temps ou de calcul.

³ Nearest Neighbor (plus proche voisin) est un algorithme heuristique utilisé en optimisation et en classification, qui sélectionne la solution ou le point de données le plus proche selon une mesure de distance prédéfinie, comme la distance euclidienne. Il est couramment employé dans les problèmes de routage, de reconnaissance de formes et d'apprentissage automatique.

⁴ Greedy Algorithms (algorithmes gloutons) sont des méthodes d'optimisation qui prennent des décisions successives en choisissant, à chaque étape, l'option localement optimale dans l'espoir d'atteindre une solution globalement optimale. Ils sont souvent utilisés dans des problèmes de tri, d'allocation de ressources et de graphes, bien qu'ils ne garantissent pas toujours la solution optimale.

⁵ Savings Heuristic (heuristique des économies) est une méthode d'optimisation utilisée pour résoudre les problèmes de tournées de véhicules (Vehicle Routing Problem). Elle repose sur le principe de regrouper des livraisons afin de minimiser la distance totale parcourue, en fusionnant progressivement des trajets individuels lorsque cela génère des économies de coûts.

⁶ Insertion Heuristics (heuristiques d'insertion) sont des méthodes d'optimisation utilisées pour construire progressivement une solution en insérant, à chaque étape, un nouvel élément (par exemple, un client dans une tournée ou une tâche dans un planning) à la position la plus avantageuse selon un critère donné, comme le coût ou la distance. Elles sont couramment appliquées dans les problèmes de routage et d'ordonnancement.

⁷ Branch-and-Bound (branchement et bornes) est un algorithme d'optimisation exact utilisé pour résoudre des problèmes combinatoires et de programmation mathématique. Il explore de manière systématique l'espace des solutions en divisant le problème en sous-problèmes (branching) et en éliminant ceux qui ne peuvent pas conduire à une solution optimale (bounding), réduisant ainsi le temps de calcul.

Les métaheuristiques aident à améliorer la performance des opérations en optimisant, par exemple, les tournées de transport, les calendriers de production, ou la gestion des stocks. Par exemple, Ant colony optimization⁸, genetic algorithm⁹, particle swarm optimization¹⁰, simulated annealing¹¹, etc.

2.2 Revue de la littérature

Avant de se lancer dans un projet, une revue de la littérature s'avère pertinente. Pour relever ce défi, les chercheurs doivent élaborer une stratégie de recherche comprenant la sélection de mots-clés et de requêtes appropriés, la définition de critères d'inclusion et d'exclusion et le choix de bases de données pertinentes. La révision systématique se base sur les travaux de **Thomé et al. (2016)**, et la démarche suivie est composée des 8 étapes consécutives ci-dessous (**Figure 2.1**).

⁸ Ant Colony Optimization (optimisation par colonie de fourmis) est une métaheuristique inspirée du comportement des fourmis cherchant un chemin optimal entre leur nid et une source de nourriture. Elle est utilisée pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire en simulant la manière dont les fourmis déposent des phéromones pour guider la recherche de solutions optimales, notamment dans les problèmes de routage et de graphes.

⁹ Genetic Algorithm (GA) (algorithme génétique) est une méthode d'optimisation inspirée de la sélection naturelle. Il utilise des mécanismes biologiques tels que la mutation, le croisement et la sélection pour explorer un espace de solutions et converger vers une solution optimale. Couramment employé dans les problèmes d'optimisation combinatoire et d'apprentissage automatique, il est particulièrement efficace pour les problèmes où l'espace de recherche est vaste et complexe.

¹⁰ Particle Swarm Optimization (optimisation par essaim de particules) est une métaheuristique inspirée du comportement collectif des essaims d'oiseaux ou des bancs de poissons. Chaque solution potentielle est représentée par une particule qui se déplace dans l'espace de recherche en ajustant sa position en fonction de sa propre expérience et de celle des autres particules. Cette approche est couramment utilisée pour résoudre des problèmes d'optimisation continue et combinatoire.

¹¹ Simulated Annealing (recuit simulé) est une métaheuristique d'optimisation inspirée du processus de refroidissement des métaux en métallurgie. Elle explore l'espace des solutions en acceptant parfois des solutions moins optimales afin d'éviter de rester bloqué dans un optimum local. Au fil des itérations, la probabilité d'accepter de telles solutions diminue, permettant ainsi de converger vers une solution optimale. Cette méthode est particulièrement utilisée pour les problèmes d'optimisation combinatoire.

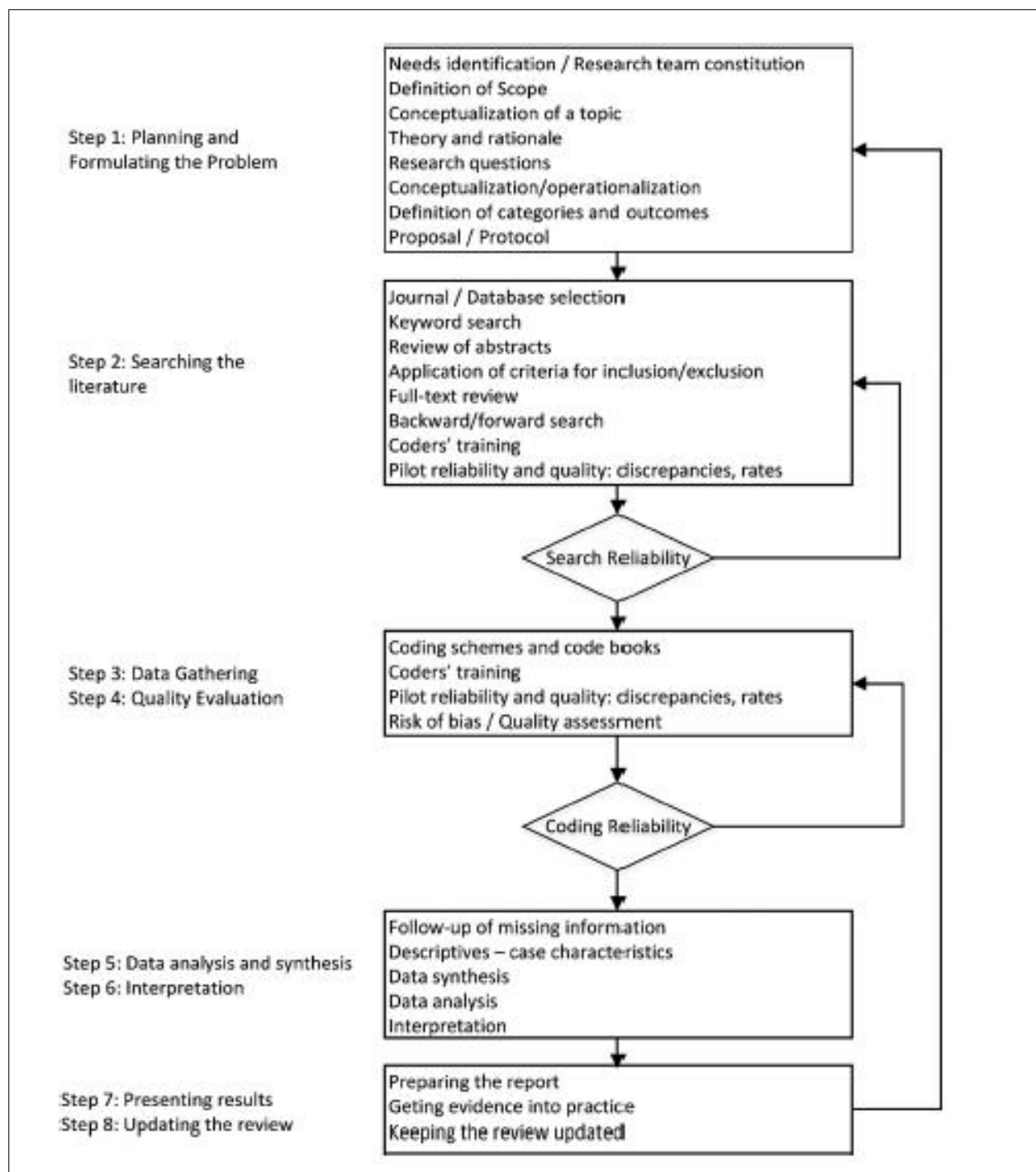


Figure 2.1 Revue systématique de la littérature (Thomé et al., 2016)

L'objectif global de cette partie est d'explorer les concepts clés liés au transport partagé, écoresponsable et efficace, en se basant sur les études actuelles dans le domaine de la logistique et du transport durable. Nous visons à analyser les approches existantes pour optimiser les réseaux de transport partagé, en soulignant les outils de prise de décision et les méthodes utilisées pour améliorer la performance environnementale et l'efficacité opérationnelle. En outre, nous visons à expliquer la relation entre la simulation et l'optimisation, et l'importance de les utiliser conjointement pour résoudre les problèmes de routage.

2.2.1 Étape 1 « Planification et formulation du problème »

Cette étape consiste à positionner le problème dans le cadre de la recherche, en vérifiant la présence du sujet dans la littérature. Il faut identifier le problème, l'objet de la recherche, l'objectif à atteindre, le public visé, etc. Les chercheurs en logistique et en transport ont accordé une grande priorité aux problèmes de routage.

2.2.2 Étape 2 « Recherche documentaire »

2.2.2.1 Identifier les mots-clés

La première étape consiste à classer les mots-clés en fonction du thème de recherche et à créer une cartographie conceptuelle qui englobe tous les termes choisis, ainsi que les synonymes correspondants. Mes connaissances en gestion des opérations et mes lectures approfondies sur la logistique, le transport, l'optimisation et la simulation m'ont incitée à sélectionner des mots-clés pertinents correspondant à la thématique de ma recherche. Les trois principaux concepts que j'ai retenus sont présentés dans le **Tableau 2.2.**

Tableau 2.2 La liste des concepts clés et leurs synonymes

Concept 1	Concept 2	Concept 3
VRP-TSP	Simulation	Optimization
Mots Clés		
Vehicle routing problem	Simulat*	Optimiz*
Traveling salesman problem	Dynamic simulation	Math programming
Route optimization	Discrete-event simulation	Discrete optimization
Transportation problem	Agent-based simulation	Linear programming
Transport optimization	System Dynamics	

2.2.2.2 Créer des requêtes

Sur la base des mots-clés retenus, nous avons créé une requête portant sur le problème de routage des véhicules (VRP) et le problème du voyageur de commerce (TSP). L'approche utilisée pour résoudre ces problèmes est l'application de la simulation. Nous avons exclu tout mot-clé lié à l'optimisation, car ces problèmes de routage sont déjà construits à l'aide de modèles mathématiques d'optimisation. En d'autres termes, dans cette revue, nous recherchons des informations sur les approches de simulation qui ont été utilisées pour résoudre les problèmes VRP et TSP. Comment les chercheurs ou les praticiens ont-ils appliqué la simulation pour optimiser le routage des véhicules et les trajets du voyageur de commerce?

(VRP OR "vehicle routing problem*" OR TSP OR "traveling salesman problem*" OR "route optimization" OR "transportation problem" OR routing OR "transport optimization") AND (simulat* OR "system dynamics" OR "discret-event simulation" OR "agent-based simulation")

Total = 75 610 documents

2.2.2.3 Appliquer un horizon de temps

Pour restreindre le corpus d'articles, nous avons consulté les publications datant de 2012 à 2022. Cette démarche permettra d'examiner de près les avancées réalisées par les chercheurs au cours de la dernière décennie, ainsi que de comprendre comment les logiciels et programmes informatiques utilisés pour la modélisation ont évolué au fil des années. En focalisant l'analyse sur cette période, nous avons évalué les progrès significatifs réalisés dans la résolution des problèmes VRP et TSP, tout en tenant compte des avancées technologiques et des innovations en matière de simulation.

2.2.2.4 Déterminer les critères d'inclusion et d'exclusion

En établissant des critères d'inclusion et d'exclusion, nous avons affiné la sélection des articles afin de nous concentrer sur ceux les plus pertinents pour notre recherche. Le **Tableau 2.3** synthétise ces critères, facilitant ainsi le processus de sélection. Seuls les articles en anglais, issus de revues scientifiques et portant sur l'intégration de la simulation et de l'optimisation en informatique, mathématiques, science de la décision et ingénierie sont retenus. À l'inverse, les actes de conférences, chapitres de livres, comptes rendus ainsi que les études portant sur des méthodologies spécifiques ou des thématiques trop ciblées sont exclus. Cette approche garantit une sélection rigoureuse et alignée sur les objectifs de la recherche.

Tableau 2.3 Les critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Les articles doivent être rédigés en anglais.	Les résumés de conférences, les chapitres de livres, les comptes rendus, les thèses, les actes de conférences, les livres et les documents de normes sont exclus. Seuls les articles de revues scientifiques sont retenus.
L'étude doit explorer l'intégration de la simulation et de l'optimisation dans des domaines liés à l'ingénierie, aux mathématiques et à la science de la décision.	Les articles portant exclusivement sur des domaines sans lien avec l'optimisation et la simulation seront exclus.
Seuls les articles scientifiques sont considérés comme documents de référence.	Les actes de conférences, les lettres de recherche et les rapports techniques ne seront pas pris en compte.
L'approche de résolution doit concerner les problèmes VRP ou TSP (problème de tournée de véhicules ou problème du voyageur de commerce) et intégrer des techniques de simulation ou d'optimisation.	Les articles utilisant des méthodes ne relevant pas du VRP ou du TSP, ou se concentrant uniquement sur les réseaux de télécommunications, sécurité et gestion du trafic, l'Internet des objets (IoT), les systèmes embarqués et électronique sans lien direct avec l'optimisation et la simulation, sont exclus.
La sélection des sources se limite exclusivement aux articles publiés dans des journaux scientifiques.	Les sources issues de conférences, rapports industriels et autres documents non validés par des comités de relecture scientifique sont exclus.
La recherche est effectuée principalement sur la base des titres, mots-clés et sujets des articles.	Les articles dont les titres et résumés ne reflètent pas une pertinence directe avec le sujet étudié ne sont pas pris en compte.

2.2.2.5 Démarrer le processus de sélection

Le processus de sélection a commencé avec 6 430 articles, évalués selon des critères d'inclusion et d'exclusion. Il s'est déroulé en trois étapes : une première sélection basée sur les titres, suivie d'une analyse des résumés, et enfin un examen approfondi des articles retenus, portant sur leur méthodologie, étude de cas et conclusion. En cas de doute, une validation était effectuée en concertation avec mes directrices de recherche. Cette démarche progressive a permis d'identifier les travaux les plus pertinents pour l'étude.

2.2.2.6 Diagramme Prisma

En se référant au papier de **Page et al. (2021)**, j'ai construit le diagramme Prisma qui présente clairement le processus de sélection des articles pour la révision de la littérature faite. Ce diagramme est illustré dans la **Figure 2.2**.

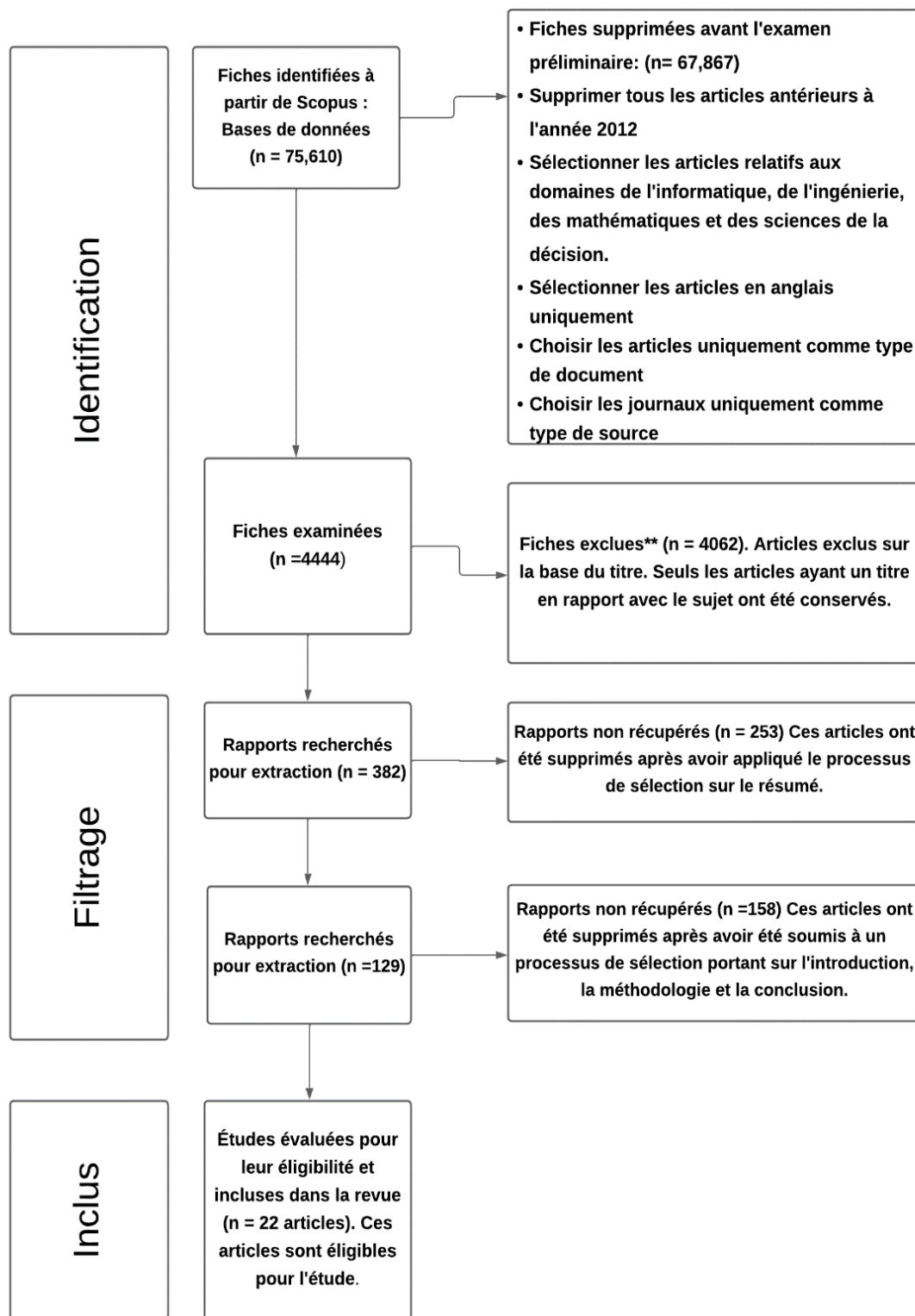


Figure 2.2 Diagramme Prisma

Cette image illustre un processus de sélection d'articles pour une revue de la littérature, divisé en trois étapes principales : identification, filtrage, et inclusion :

- Identification : Initialement, 75 610 fiches ont été identifiées à partir de la base de données Scopus. Après un examen préliminaire, 67 867 fiches ont été exclues en appliquant des critères tels que l'élimination des articles antérieurs à 2012, la sélection uniquement d'articles en anglais, et le choix des articles relatifs aux domaines de l'informatique, de l'ingénierie, des mathématiques et des sciences de la décision. Ces filtres ont permis de réduire le corpus à 4 444 fiches examinées.
- Filtrage : Parmi ces fiches, 4 062 ont été exclues sur la base du titre, ne conservant que celles en rapport direct avec le sujet d'étude. Ensuite, les résumés des articles restants ont été examinés, et 253 rapports ont été exclus à cette étape. Après un examen approfondi des introductions, méthodologies et conclusions, 158 articles supplémentaires ont été écartés.
- Inclusion : Finalement, 22 articles ont été jugés éligibles et inclus dans la revue. Ces articles représentent les études pertinentes et conformes aux critères définis.

Ce choix final, bien que restreint en termes de quantité, répond à plusieurs justifications académiques solides, décrites ci-dessous :

- *Rigueur méthodologique dans le processus de sélection* : Le processus de sélection a été conçu de manière à garantir la qualité et la pertinence des articles inclus. À chaque étape :

- Des critères précis ont été appliqués, tels que l'élimination des articles publiés avant 2012, la restriction aux publications en anglais, et la sélection d'articles appartenant à des domaines spécifiques (informatique, ingénierie, mathématiques et sciences de la décision).
- Une sélection successive basée sur les titres, résumés et contenus a été réalisée afin de réduire progressivement le corpus aux études les plus pertinentes. Cette approche a permis de procéder à une analyse approfondie et étape par étape,

assurant ainsi que les articles retenus répondent pleinement aux objectifs de recherche.

- *Conformité avec les objectifs de la recherche* : les 22 articles sélectionnés correspondent directement aux questions de recherche définies au départ. Ces articles représentent des études significatives qui permettent d'explorer les dimensions essentielles du sujet d'étude. Ils offrent des réponses pertinentes aux problématiques identifiées et apportent des éléments critiques à la discussion scientifique.

- *Alignement avec les critères définis* : les exclusions successives ont permis d'éliminer les articles ne respectant pas les critères établis, qu'il s'agisse de leur pertinence thématique, de leur rigueur scientifique, ou de leur lien direct avec le sujet d'étude. Les 22 articles finaux représentent donc un ensemble cohérent et strictement conforme aux exigences initiales.

- *Contribution significative à l'avancement des connaissances* : chaque article retenu apporte une valeur ajoutée unique à la recherche. Ce corpus offre une couverture diversifiée, mais cohérente des thématiques clés de l'étude, permettant ainsi de construire un cadre analytique solide et de formuler des conclusions robustes. En outre, ces articles représentent une synthèse des approches méthodologiques et des résultats les plus pertinents pour le sujet.

- *Pertinence pour l'argumentation et la discussion finale* : les articles retenus forment une base solide pour développer une discussion structurée et étayée. Leur sélection repose sur leur capacité à enrichir les réflexions théoriques et à fournir des éléments critiques directement applicables aux objectifs de recherche.

En conclusion, le choix final de 22 articles reflète une démarche rigoureuse et structurée, orientée vers la qualité et la pertinence scientifique. Ce processus garantit que la revue de la littérature constitue un outil efficace pour répondre aux objectifs de recherche tout en respectant les normes académiques et les contraintes pratiques du projet.

2.2.3 Étapes 3 et 4 « La collecte de données »

Pour enrichir la phase de collecte des données, j'ai eu recours à la Winter Simulation Conference ¹²(WSC), une source fiable et solide pour appuyer mon travail de recherche. La WSC est une conférence internationale annuelle spécialisée dans la publication d'articles traitant de l'application de la simulation dans divers domaines d'activité. Plusieurs facteurs ont influencé mon choix : la qualité scientifique des travaux, qui font l'objet d'une évaluation rigoureuse par les pairs ; l'accès aux dernières avancées et tendances en matière de simulation, qui assure une perspective actualisée de la recherche ; et la diversité des sujets abordés par les chercheurs, les universitaires et les experts de l'industrie.

Le choix du WSC s'explique par sa position unique en tant que conférence de référence internationale dans le domaine de la simulation. Elle offre un cadre scientifique de haute qualité grâce à un processus rigoureux de revue par les pairs et rassemble les contributions les plus pertinentes sur des thématiques essentielles telles que la simulation et l'optimisation des systèmes complexes. Ces thématiques s'alignent parfaitement avec notre problématique de recherche, en particulier sur l'intégration de la simulation dans les réseaux de transport efficaces et écoresponsables. Contrairement à d'autres conférences plus généralistes ou périphériques, le WSC fournit une couverture ciblée et pertinente, répondant directement aux objectifs de cette étude. Bien que ce choix limite la diversité des sources, il garantit une analyse approfondie et de qualité des travaux les plus significatifs dans le domaine.

Nous avons sélectionné des articles dans les domaines suivants : simulation à base d'agents, applications dans le domaine des soins de santé, simulation hybride, logistique, chaînes d'approvisionnement, transport, applications de fabrication et simulation d'optimisation. Au total, nous avons récupéré 7 articles publiés dans la Winter simulation Conference.

¹² <https://informs-sim.org/>

2.2.3.1 Taxonomie de la classification des articles

La classification des articles repose sur une analyse approfondie des techniques de simulation et des méthodologies d'optimisation appliquées aux problèmes de routage des véhicules. Cette typologie se structure en plusieurs axes :

A- Nature des problèmes : Trois grandes catégories sont identifiées, à savoir les problèmes de routage des véhicules (VRP), les problèmes du voyageur de commerce (TSP) et les problèmes de routage des stocks (IRP), chacun répondant à des contraintes spécifiques.

B- Domaines d'application : Les problématiques étudiées s'inscrivent dans divers contextes, notamment la santé, le transport, la logistique humanitaire et la gestion des chaînes d'approvisionnement.

C- Méthodes de résolution : Face à la complexité de ces problèmes (NP-difficiles), les articles exploitent des heuristiques et métaheuristiques, telles que les algorithmes génétiques, les colonies de fourmis, la recherche taboue et le recuit simulé.

D- Modélisation des données : Les approches adoptées sont classées en fonction de la nature des données traitées (déterministes, stochastiques ou dynamiques).

E- Caractéristiques des modèles d'optimisation : Les articles se distinguent selon la fonction objective (mono ou multi-objectifs), l'horizon temporel (mono ou multi périodique) et les contraintes liées aux véhicules (capacité, homogénéité de la flotte, fenêtres temporelles).

F- Approches de simulation : Plusieurs techniques sont utilisées pour évaluer les stratégies proposées, notamment la simulation à événements discrets, la simulation basée sur des agents et les modèles hybrides combinant différentes méthodes.

Cette classification permet d'obtenir une vision synthétique et structurée des contributions scientifiques existantes, facilitant ainsi l'analyse comparative des approches appliquées aux problèmes de routage des véhicules.

2.2.4 Étapes 5 et 6 « L'analyse, la synthèse et l'interprétation des données »

Revue de la littérature :

Nous avons méthodiquement classé les documents récupérés en différentes catégories thématiques, en fonction des secteurs d'activité auxquels ils se rapportent (par exemple, les soins de santé, la logistique humanitaire, la restauration, le commerce de détail, la chaîne d'approvisionnement, le transport, la collecte des déchets, et bien d'autres encore). **Le Tableau 2.4** présente les articles étudiés, regroupés suivant les thématiques de classification retenues. Dans ce tableau :

- **La colonne 1** présente les références bibliographiques des articles examinés.
- **La colonne 2** résume la structure hiérarchique du problème, dont la relation entre la simulation et l'optimisation. Les 4 structures sont représentées par les symboles suivants : ASO (Amélioration du modèle analytique), SSO (Construction d'un modèle de substitution), SOI (Génération de solution) et OSI (Fonction d'évaluation).
- **La colonne 3** comprend l'approche de modélisation par simulation utilisée : ABM, DES, SD ou hybride.
- **La colonne 4** élabore l'objectif de la simulation, qui dépend du problème étudié et de l'interaction entre simulation et optimisation.

i. AMA (Amélioration du modèle analytique) :

Cette approche se concentre sur l'utilisation de la simulation pour améliorer un modèle analytique existant. Dans cette approche, la simulation est utilisée pour optimiser les paramètres du modèle.

ii. GS (Génération de solution) :

Cette approche fait appel à la simulation pour trouver des solutions à des problèmes complexes. La génération de solutions est généralement combinée à des méthodes d'optimisation pour trouver les meilleures solutions possibles, car la simulation permet d'explorer un espace de solutions plus large et de saisir la dynamique d'un système en temps réel.

iii. CMS (Construction d'un modèle de substitution) :

Cette approche implique un recours à la simulation pour bâtir un modèle de substitution, qui est une version simplifiée du modèle actuel pour réduire le temps de calcul. Ce modèle est ensuite employé pour optimiser la solution sans devoir procéder à des simulations complètes à chaque étape.

iv. FE (Fonction d'évaluation) :

Cette approche est axée sur la simulation pour exploiter les solutions générées et rechercher une solution optimale. Dans cette approche, la simulation n'est pas utilisée pour produire des solutions, mais pour évaluer et valider celles qui sont issues des méthodes d'optimisation. Cette approche est par nature itérative, ce qui explique le fait qu'à toute itération, une nouvelle solution est présentée par l'optimiseur, et sa performance est évaluée en fonction des résultats de la simulation.

La Figure 2.3 illustre la relation entre la simulation et l'optimisation, selon les quatre catégories mentionnées ci-dessus :

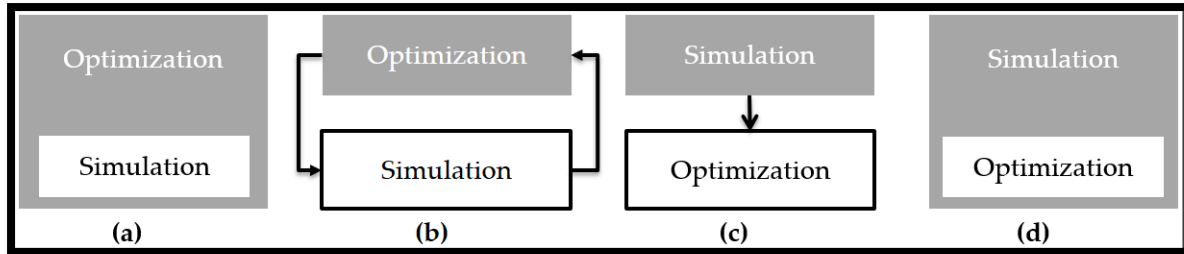


Figure 2.3 Classification des approches hybrides simulation-optimisation (Figueira et Almada-Lobo, 2014)

- **La colonne 5** détermine le problème d'optimisation, c.-à-d. s'il s'agit d'un VRP, TSP, FLP, IRP ou LRP.
- **La colonne 6** énonce si le modèle d'optimisation considère une limite de capacité ou non sur le(s) camion(s). Ceci peut être en poids, volume ou temps.
- **La colonne 7** détermine s'il s'agit d'un problème à période unique ou multi-période.
- **La colonne 8** montre la méthodologie de résolution du problème d'optimisation : HE (Heuristique), E (Exact) et ME (Métaheuristique)
- **La colonne 9** donne le secteur d'activité : VD (Vente de détail), Soins de santé (SS), CA (Chaîne d'approvisionnement), RE (Restauration), T (Transport).

Tableau 2.4 Liste des articles par secteurs d'activité

Référence	Structure hiérarchique du problème	Approche de modélisation en simulation	Objectif de la simulation	Problème d'optimisation	Capacité	Période	Résolution de l'optimisation	Secteur d'activité
Vonolfen et al. (2013)	ASO	ABM	AMA	IRP	Oui	Multi	HE	VD
Fikar (2018)	SOI	ABM	GS	VRP	Oui	Multi	HE	VD
Serrano-Hernandez et al. (2021a)	SOI	ABM	GS	VRP	Oui	Multi	HE	VD
Zou et al. (2023)	SOI	ABM	GS	TSP	Oui	Unique	HE	VD
Sawik et al. (2022)	SSO	ABM	CMS	FLP	Oui	Multi	E	VD
Wang et al. (2022)	OSI	ABM	FE	IP	Non	Unique	ME	VD
Paul et Doreswamy. (2021)	OSI	DES	FE	VRP	Oui	Multi	HE	VD
Serrano-Hernandez et al. (2021b)	SSO	ABM	CMS	FLP	Oui	Multi	E	VD
Marcon et al. (2017)	OSI	ABM	FE	VRP	Non	Unique	HE + ME	SS
Sun et al. (2021)	ASO	ABM	AMA	VRP	Oui	Unique	E	SS
Andoh et Yu. (2022)	ASO	DES	AMA	VRP	Oui	Unique	E	SS
Dessevre et al. (2022)	OSI	DES	FE	VRP	Non	Unique	HE	SS
Herazo-Padilla et al. (2015)	OSI	DES	FE	VRP + LRP	Oui	Unique	ME	CA
Reddy et al. (2017)	ASO	ABM	AMA	VRP	Oui	Multi	ME	CA
Ravichandran et al. (2020)	SOI	DES	GS	VRP	Oui	Multi	E	CA
Abdullatif et Kassem. (2020)	SOI	ABM	GS	VRP	Oui	Unique	E	CA
Naderi et al., (2021)	SOI	SD	GS	VRP	Oui	N/A	E	CA
Fikar et al. (2018)	ASO	ABM	AMA	VRP	Oui	Unique	HE	R
Hrušovský et al. (2018)	ASO	ABM + DES	AMA	VRP	Oui	Multi	E	T
Liu et al. (2021)	OSI	ABM	FE	VRP	Oui	Multi	ME	T
Abu-Monshar et al. (2021)	SSO	ABM	CMS	VRP	Oui	Unique	E	T
Maïzi et al. (2019)	OSI	DES	FE	VRP	Oui	Multi	E	T
Anufriyeva et al. (2023)	OSI	ABM + DES	FE	TSP	Oui	Multi	E	T

Le **Tableau 2.5** présente une vue d'ensemble de tous les articles classés dans les catégories susmentionnées :

Tableau 2.5 Regroupement des articles selon les structures hiérarchiques

Nombre d'articles	Articles	Structure hiérarchique
5 articles	Vonolfen et al. (2013), Sun et al. (2021), Andoh et Yu. (2022), Reddy et al. (2017), Fikar et al. (2018), Hrušovský et al. (2018)	ASO- Amélioration du modèle analytique
6 articles	Fikar (2018), Serrano-Hernandez et al. (2021a), Zou et al. (2023), Ravichandran et al. (2020), Abdullatif et Kassem (2020), Naderi et al., (2021)	SOI- Génération de solution
3 articles	Sawik et al. (2022), Serrano-Hernandez et al. (2021b), Abu-Monshar et al. (2021)	SSO- Construction d'un modèle de substitution
8 articles	Wang et al. (2022), Paul et Doreswamy. (2021), Marcon et al. (2017), Dessevre et al. (2022), Herazo-Padilla et al. (2015), Liu et al. (2021), Maïzi et al. (2019), Anufriyeva et al. (2023)	OSI - Fonction d'évaluation

2.2.4.1 Optimisation avec itérations basées sur la simulation (OSI) (Fonction d'évaluation):

Les études récentes démontrent que l'intégration de la simulation et de l'optimisation peut apporter des solutions robustes dans divers domaines. Par exemple, **Wang et al. (2022)** ont combiné l'ABM et un algorithme GA pour optimiser l'infrastructure des drones. Leur recherche visait à déterminer les emplacements optimaux des dépôts de drones et des stations de recharge, en minimisant les coûts de transport. La simulation ABM a permis de modéliser les interactions dynamiques entre les agents, comme les drones et les clients, tout en tenant compte des contraintes spécifiques du système. Ce cadre itératif a révélé l'importance de capturer les comportements complexes des agents pour des systèmes logistiques modernes.

Dans le secteur du transport, **Paul et Doreswamy (2021)** ont appliqué une approche en deux phases, combinant l'optimisation des tournées et la simulation DES, pour résoudre le problème de collecte et de livraison MDPDPTW. L'intégration d'algorithmes JIT et de techniques de regroupement a permis d'optimiser les coûts et d'améliorer l'expérience client, en gérant efficacement les incertitudes opérationnelles.

L'optimisation-simulation s'avère également pertinente dans les services de soins à domicile. **Marcon et al. (2017)** ont conçu un modèle hybride intégrant une planification centralisée des tournées et une prise de décision décentralisée en temps réel, améliorant ainsi l'efficacité des trajets et la gestion des interactions complexes entre soignants et patients. Dans la même optique, **Dessevre et al. (2022)** ont démontré que l'intégration de la simulation permet de mieux gérer les aléas, tels que les retards du personnel et la variabilité des besoins des patients, en proposant des solutions plus réalistes que les approches d'optimisation traditionnelles.

Enfin, **Herazo-Padilla et al. (2015)** ont appliqué une combinaison d'un algorithme ACO et d'une simulation DES pour résoudre des problèmes de localisation de dépôts et de routage dans une chaîne d'approvisionnement. Leur méthode a permis d'évaluer la robustesse des configurations optimisées dans des environnements stochastiques.

Dans l'ensemble, L'approche OSI se distingue donc par sa capacité à répondre aux défis de systèmes variés, qu'il s'agisse de drones (**Wang et al., 2022**), de livraisons urbaines (**Paul et Doreswamy, 2021**), de soins à domicile (**Marcon et al., 2017; Dessevre et al., 2022**), ou de gestion de chaînes d'approvisionnement (**Herazo-Padilla et al., 2015**). Dans tous ces cas, l'itération entre optimisation et simulation permet non seulement d'affiner les solutions, mais aussi de capturer les subtilités comportementales et les incertitudes, garantissant ainsi des recommandations robustes et adaptées aux systèmes étudiés.

2.2.4.2 Simulation-optimisation alternative (ASO) (Amélioration du modèle analytique):

Dans le secteur de la gestion des stocks et de la planification des tournées, **Vonolfen et al. (2013)** ont appliqué l'ASO au VMI en combinant ABM et une heuristique "Push-forward", permettant une optimisation dynamique des livraisons en fonction des niveaux de stock et des besoins en réapprovisionnement. Cette approche a démontré son efficacité pour minimiser les déplacements superflus et maximiser l'utilisation des ressources.

La distribution de vaccins constitue un autre domaine d'application clé. **Sun et al. (2021)** ont optimisé les tournées de livraison des vaccins Covid-19 en Norvège, en minimisant les coûts et les émissions de gaz à effet de serre à travers douze scénarios simulés. En parallèle, **Andoh et Yu (2022)**, ont intégré une simulation DES pour gérer les incertitudes d'approvisionnement, telles que les contraintes temporelles et logistiques, assurant ainsi une meilleure réactivité du réseau de distribution.

Dans les opérations logistiques, **Reddy et al. (2017)** ont proposé un modèle ABM couplé à l'optimisation par algorithme PSO pour organiser l'approvisionnement en riz en Inde. Cette approche a permis de mieux modéliser les interactions entre les agents de la chaîne logistique, d'optimiser la répartition des ressources et de réduire les coûts

L'ASO trouve également des applications dans le secteur de la restauration. **Fikar et al. (2018)**, ont optimisé la logistique de livraison avec des vélos-cargos, en intégrant l'ABM et une optimisation des tournées et des centres de distribution. Ce modèle a pris en compte les incertitudes liées à la demande et aux ressources disponibles, garantissant une distribution plus efficace.

Dans le transport intermodal, **Hrušovský et al. (2018)** ont élaboré un modèle hybride combinant DES et ABM pour analyser l'impact des variations des temps de parcours et des opérations logistiques sur la performance globale du réseau. Leur approche

stochastique a permis une planification robuste, capable de s'adapter aux aléas du transport.

Enfin, dans le contexte de l'aide humanitaire, **Espejo-Díaz et Guerrero (2021)** ont développé un modèle ABM-optimisation pour organiser la distribution des secours lors de catastrophes naturelles. En intégrant les comportements humains, tels que l'impatience des victimes, cette approche a permis d'optimiser les stocks et les tournées de distribution afin de réduire le nombre de victimes et d'améliorer la réactivité des interventions. Ainsi, l'ASO se révèle être un outil puissant pour la prise de décision dans des environnements complexes, en favorisant l'optimisation des ressources et l'adaptabilité aux incertitudes systémiques, que ce soit en logistique, en transport, en distribution ou en gestion de crises humanitaires.

2.2.4.3 Simulation-optimisation séquentielle (SSO) (Construction d'un modèle de substitution):

Sawik et al. (2022) ont appliqué la SSO à l'implantation des APL en utilisant ABM pour modéliser les interactions entre la population locale, les consommateurs en ligne et les utilisateurs d'APL. Cette approche a permis de collecter des données essentielles pour un problème bi-objectif, conciliant minimisation des coûts et maximisation des revenus dans différentes villes (Zakopane, Pampelune et Cracovie), démontrant ainsi la capacité de la SSO à adapter les décisions aux spécificités locales.

Dans le domaine des réseaux de transport, **Abu-Monshar et al. (2021)** ont utilisé la SSO pour gérer les perturbations imprévues, notamment les pannes de véhicules. Leur modèle, structuré autour d'ABM, collecte et analyse en temps réel les données des véhicules, conducteurs et clusters logistiques, permettant une réallocation dynamique des ressources et des trajets face aux aléas du réseau.

Enfin, dans un contexte de logistique de crise, **Fikar et al. (2016)** ont exploité la SSO pour modéliser la distribution de marchandises lors d'inondations. Leur approche combine un algorithme de recherche Tabou pour identifier les points de transfert optimaux et ABM pour simuler les interactions des véhicules et des agents logistiques.

Grâce à cette intégration, les tournées sont ajustées en temps réel, garantissant une distribution efficace malgré les contraintes et imprévus.

Ces études illustrent la polyvalence et la robustesse de la SSO, qui permet une amélioration continue des décisions, une meilleure adaptabilité aux incertitudes et une optimisation dynamique des ressources. En s'appuyant sur des données simulées pour ajuster progressivement les solutions, cette approche se révèle être un levier stratégique dans des environnements caractérisés par des variations constantes et des contraintes complexes.

2.2.4.4 Simulation avec itérations basées sur l'optimisation (SOI) (Génération de solution) :

Dans le domaine de l'épicerie en ligne, **Fikar (2018)** a développé un système d'aide à la décision basé sur ABM pour modéliser les opérations d'une journée complète d'un supermarché urbain. L'agent "planificateur" y optimise les tournées et les délais de livraison en temps réel. Parmi les stratégies de préparation des commandes testées, la méthode FEFO (First Expired, First Out) s'est avérée la plus efficace, minimisant le gaspillage alimentaire tout en garantissant une satisfaction client élevée. Dans une perspective similaire, **Serrano-Hernandez et al. (2021)** ont exploré différents scénarios de coopération entre supermarchés pour optimiser le routage des livraisons, montrant que la collaboration horizontale améliore à la fois les performances économiques et la qualité du service.

En ce qui concerne les plateformes logistiques, **Zou et al. (2023)** ont conçu un modèle ABM pour simuler les interactions des acteurs d'une plateforme O2O. L'intégration de l'algorithme TSP dans l'optimisation des tournées de livraison a démontré une réduction significative des coûts et une meilleure efficacité des livraisons.

Dans le secteur industriel, **Ravichandran et al. (2020)** ont utilisé DES pour optimiser la chaîne d'approvisionnement laitière à l'aide du logiciel Arena. Leur approche a permis d'identifier les configurations de camions les plus adaptées, en équilibrant

rentabilité et durabilité environnementale par la réduction des coûts et des émissions de CO₂. De même, **Abdullatif et Kassem (2020)** ont appliqué ABM pour visualiser et optimiser les tournées de véhicules en intégrant divers acteurs du routage, tels que les points de demande et les allocations de tâches.

Enfin, **Naderi et al. (2021)** ont mobilisé la simulation SD pour optimiser les chaînes d'approvisionnement vertes, en intégrant des boucles de rétroaction permettant d'améliorer la gestion des stocks et les coûts de transport. L'approche a contribué à réduire les délais de livraison et à améliorer la satisfaction client, tout en optimisant les niveaux de pollution et les taux de production.

Ces études illustrent la polyvalence de la méthode SOI dans des contextes variés, qu'il s'agisse de l'épicerie en ligne, des plateformes logistiques, ou des chaînes d'approvisionnement industrielles. En combinant la simulation pour capturer la dynamique du système et l'optimisation pour affiner les décisions, la SOI offre une approche itérative et efficace pour relever les défis complexes des opérations modernes.

2.2.5 Étape 7 et 8 « La présentation des résultats et la mise à jour de l'étude »

Discussion

Cette revue de la littérature met en évidence les avancées et les tendances de la recherche sur des problématiques complexes telles que le routage, la planification des stocks et le problème TSP, dans divers secteurs d'application, notamment la logistique, le transport, la santé et la gestion des chaînes d'approvisionnement. L'analyse des travaux récents révèle plusieurs conclusions majeures.

Tout d'abord, en ce qui concerne les approches de modélisation, il apparaît que l'approche SD est peu exploitée pour traiter ces problématiques en raison de sa complexité d'application en contexte réel. En revanche, l'approche ABM est privilégiée pour modéliser le comportement des entités en interaction avec leur environnement, tandis que la simulation DES permet de structurer les systèmes en identifiant les

événements qui les composent. Une approche hybride combinant ABM et DES est parfois adoptée afin d'intégrer les avantages des deux méthodologies.

Par ailleurs, l'étude souligne l'importance des heuristiques et métaheuristiques pour la résolution de problèmes d'optimisation complexes, notamment lorsqu'un grand nombre de variables de décision est impliqué. L'association de ces méthodes avec la simulation permet d'optimiser efficacement les tournées lors de l'exécution des modèles. De manière générale, l'objectif principal des travaux recensés consiste à minimiser les coûts de transport et la distance parcourue, des critères essentiels pour améliorer l'efficacité opérationnelle.

La diversité des problématiques abordées dans la littérature est également mise en évidence, couvrant un large éventail d'applications, de l'optimisation de l'affectation du personnel hospitalier à la gestion des flux logistiques, en passant par la distribution de l'aide humanitaire et l'organisation des réseaux de collecte des déchets.

Enfin, cette analyse révèle une lacune notable dans les recherches existantes, peu d'études s'intéressant spécifiquement à la conception de réseaux de transport partagés, efficaces et écoresponsables pour la distribution régionale de marchandises. Cette insuffisance ouvre ainsi une perspective de recherche pertinente pour relever les défis liés au transport et à la logistique durable.

2.2.6 Étape 9 « Positionnement du projet de recherche »

Ce projet vise à développer un réseau de transport mutualisé, efficace et écoresponsable dans la région des Laurentides, en regroupant des entreprises opérant de manière indépendante, incluant celles affiliées au Carrefour Bioalimentaire des Laurentides (CBL). L'objectif est de planifier efficacement la collecte et la distribution des marchandises. Pour ce faire, deux modèles d'optimisation seront développés :

- Le modèle d'affectation des tournées de véhicules, qui permet d'élaborer un horaire de livraison.

- Le modèle de routage de cueillette et de livraison consiste à déterminer les tournées optimales pour une flotte de véhicules afin de collecter les marchandises à des points de cueillette spécifiques et de les livrer à des destinations définies.

Ainsi, un modèle de simulation hybride sera créé dans AnyLogic, combinant :

- ABM pour modéliser le comportement des camions.
- DES pour représenter les flux de transport et les mouvements des marchandises.

Inscrit dans la catégorie **des problèmes d'optimisation et de simulation intégrée (OSI)**, ce projet exploitera les résultats des modèles d'optimisation comme données d'entrée pour la simulation. L'objectif final est de minimiser à la fois les coûts de transport et les émissions de CO₂, contribuant ainsi à une logistique plus durable. En somme, cette étude met en lumière les défis et les avancées en matière de routage, de planification des stocks et d'optimisation logistique. Elle souligne l'importance du développement de solutions innovantes, notamment dans le domaine du transport mutualisé, et illustre la complémentarité entre la simulation et l'optimisation dans la résolution de problèmes complexes.

CHAPITRE 3

Méthodologie de la recherche

Ce chapitre est consacré à l'élaboration d'une méthodologie de recherche adoptée pour la conception de l'outil d'aide à la décision visant à soutenir les membres du Carrefour Bioalimentaire des Laurentides dans leurs opérations de transport.

La méthodologie de recherche développée est inspirée du papier de Guyon et al. (2015), qui élabore un plan de travail composé de sept étapes successives. Ce plan souligne également la nécessité de retourner parfois à des étapes antérieures afin d'apporter les modifications nécessaires avant de progresser vers d'autres phases. La **Figure 3.1** présente l'ensemble de la démarche technique (volet recherche opérationnelle et simulation) réalisée par ces auteurs dans leur document sur la "Planification stratégique pour la logistique urbaine".

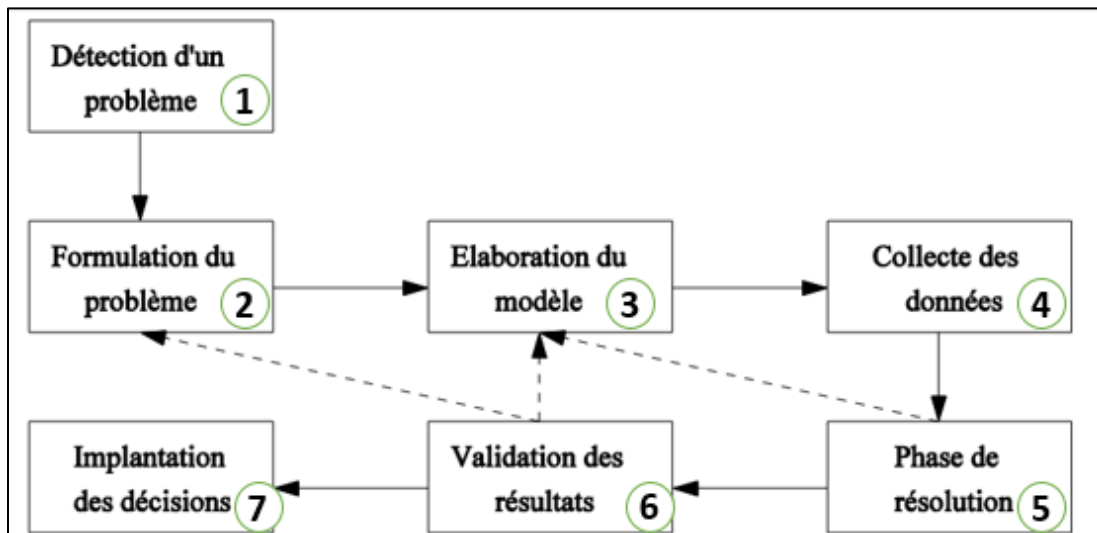


Figure 3.1 Méthodologie de la recherche opérationnelle

- Étape 1 - *Détection d'un problème* : le processus débute par l'identification d'un problème concret au sein du système étudié. Cette étape repose sur l'analyse des défis existants dans le réseau de transport, tels que les inefficacités

opérationnelles, les coûts élevés ou les impacts environnementaux. Elle constitue la base pour définir les objectifs et justifier l'intervention.

- Étape 2 - *Formulation du problème* : Une fois le problème détecté, il est nécessaire de formuler ses caractéristiques spécifiques. Cette étape consiste à :
 - Définir les objectifs à atteindre (par exemple, minimisation des coûts de transport, réduction des émissions de CO₂, amélioration des performances globales).
 - Identifier les contraintes du système (par exemple, les capacités des véhicules, les délais de livraison, les exigences environnementales).

Cette étape constitue le lien entre l'observation initiale et la phase de modélisation.

- Étape 3 - *Élaboration du modèle* : Cette phase inclut deux volets complémentaires :
 - Volet Recherche Opérationnelle: construction d'un modèle d'optimisation pour formuler mathématiquement le problème (par exemple, problème de routage des véhicules). Ce modèle vise à trouver des solutions optimales ou quasi optimales pour répondre aux objectifs définis, en tenant compte des contraintes du système.
 - Volet Simulation : Développement d'un modèle de simulation pour représenter les processus dynamiques et stochastiques du système. Dans ce projet, une approche hybride DES/ABM est adoptée, pour représenter les flux de transport et les mouvements des marchandises entre différents points du réseau. Ce modèle sert à reproduire fidèlement les interactions entre les éléments du système.

Dans le cadre de ce projet, la méthodologie repose sur un processus itératif où l'optimisation est réalisée en premier, puis validée et ajustée grâce à la simulation. Cela correspond parfaitement à l'optimisation avec itérations basées sur la simulation (OSI).

- Étape 4 - *Collecte de données* : La qualité des résultats dépend fortement des données utilisées dans les modèles. Cette étape consiste à :

- Recueillir des données sur les caractéristiques du réseau (capacités des véhicules, distances, volumes de marchandises).
- Intégrer des données dynamiques, comme les horaires, la demande client ou les taux d'émissions de CO2.
- Préparer les données pour les rendre exploitables dans les deux approches (simulation et optimisation).
- *Étape 5 - Phase de résolution* : Cette étape est au cœur de la méthodologie et repose sur une interaction entre simulation et optimisation :
 - Optimisation : Le processus débute par une phase d'optimisation, où un modèle génère des solutions optimales en fonction des objectifs définis. Ces solutions sont ensuite utilisées comme données d'entrée ou paramètres pour alimenter le modèle de simulation.
 - Simulation : À partir des résultats de l'optimisation, le modèle de simulation est exécuté pour analyser les performances du système dans différentes conditions et évaluer la robustesse des solutions proposées. Ce processus permet d'observer les dynamiques du réseau et d'ajuster, si nécessaire, les paramètres optimisés.
- *Étape 6 - Validation des résultats* : Avant de mettre en œuvre les solutions proposées, il est crucial de valider leur pertinence et leur faisabilité :
 - Comparer les résultats des modèles avec des données réelles pour garantir leur exactitude.
 - Tester différents scénarios pour évaluer la robustesse des solutions face à des variations de la demande ou des conditions opérationnelles.
 - Valider les améliorations obtenues en termes de coûts, d'efficacité et d'impact environnemental.
- *Étape 7 - Implantation des décisions* : Enfin, les solutions validées sont intégrées dans le système réel :
 - Les tournées optimisées et les stratégies de mutualisation sont mises en œuvre dans le réseau de transport.

- Un suivi continu est établi pour évaluer la performance des solutions adoptées et ajuster les décisions en cas de besoin.

3.1 La définition du problème

Comme discuté précédemment dans **le chapitre 1**, le problème principal du CBL repose sur la non-mutualisation des opérations de transport, de sorte que chaque entreprise détient ses propres flottes de véhicules, des horaires de livraisons indépendants, sous l'absence de communication et du partage de ressources. Dans le volet sécurité alimentaire, un transporteur privé est responsable de la livraison des marchandises à 21 organismes, et possède un camion dont la capacité est très limitée (26 pieds), ce qui engendre des allers-retours additionnels pour récupérer les marchandises au cours d'une même tournée. La dépendance par rapport à un fournisseur, l'augmentation du taux de CO₂, la consommation excessive du carburant, et les retards de livraison sont inévitables à ce niveau.

3.2 La collecte de données

Cette section constitue la première étape dans l'élaboration de nos modèles hybrides, visant à recueillir des données cruciales sur le fonctionnement du réseau de transport dans la région des Laurentides. Dans ce cadre, l'agent de commercialisation du CBL a mis à disposition divers documents permettant d'obtenir une vue d'ensemble des membres du réseau, des types de denrées transportées, des zones de desserte, des niveaux de stock, ainsi que de la localisation des entrepôts. Cette étape revêt une importance cruciale pour garantir la validité et la fiabilité des résultats obtenus dans le cadre de cette recherche.

En d'autres termes, nous avons choisi d'utiliser un questionnaire comme méthode de collecte de données afin de recueillir des informations auprès des participants à cette étude. Les questions ont été structurées de manière logique et cohérente, combinant des questions ouvertes et fermées, tout en respectant les principes éthiques de la recherche, tels que la confidentialité des données et l'anonymat des personnes interrogées

Dans le cadre de l'élaboration du modèle d'optimisation et de simulation, il est essentiel de recueillir des données détaillées afin de mieux comprendre le

fonctionnement actuel du réseau de transport dans la région des Laurentides. Ces données permettent d'assurer la précision et la validité du modèle tout en respectant les principes éthiques, notamment la confidentialité des données et l'anonymat des participants.

La collecte de données s'articule autour de cinq axes principaux : **l'identification des membres du réseau, la caractérisation de la demande, la gestion des entrepôts, l'organisation des opérations de transport, et les indicateurs de performance logistique.**

Tout d'abord, **l'identification des membres** vise à définir des acteurs participants au réseau, tels que les producteurs, transformateurs, restaurateurs et détaillants indépendants, ainsi que leur positionnement géographique dans la région. Ensuite, **la caractérisation de la demande** permet d'identifier les besoins spécifiques des membres, notamment les quantités requises en termes de poids, de volume et d'unités, ainsi que les types de produits concernés (secs, réfrigérés, congelés, périssables ou ultra-périssables). L'analyse prend également en compte la variabilité saisonnière des demandes, les différents points de livraison et la fréquence des opérations logistiques. **La gestion des entrepôts** constitue un autre axe central de l'analyse. Cette section se penche sur la localisation des entrepôts, les contraintes de capacité d'entreposage, la possibilité de regrouper différents types de produits dans un même dépôt, ainsi que sur le flux sortant des marchandises par catégorie de produits.

Concernant **l'organisation du transport**, l'étude s'intéresse à la structure des opérations logistiques, en examinant si les membres disposent de leur propre flotte de véhicules ou s'ils font appel à des prestataires logistiques externes. Les caractéristiques des camions, telles que leur capacité, leur volume, et leur aptitude à maintenir des températures spécifiques, doivent être identifiées. La flexibilité des tournées, l'implication des chauffeurs, ainsi que les responsabilités liées aux activités de chargement et de déchargement doivent également être analysées.

Enfin, **les performances logistiques** sont évaluées à l'aide de plusieurs indicateurs clés, notamment la distance totale parcourue par les camions, le taux de déplacement à vide, la charge totale transportée ainsi que la durée moyenne des tournées effectuées. Ces informations, recueillies grâce au questionnaire et aux données préexistantes, constituent une base essentielle pour alimenter les modèles d'optimisation et de simulation. Elles garantissent que ces modèles reflètent fidèlement les dynamiques opérationnelles du réseau, tout en offrant une base solide pour la formulation de recommandations visant à optimiser les performances logistiques et réduire les impacts environnementaux.

3.3 La modélisation

À la suite de l'étape de collecte de données, cette section constitue le point de convergence entre la simulation et l'optimisation. Les informations recueillies de la section 3.2 soutiennent la conception du réseau de transport dans le logiciel de simulation AnyLogic, et nous permettent de définir les paramètres, les variables, les ressources et toute autre entrée pertinente au fonctionnement du modèle.

La méthodologie suivie pour bâtir le modèle s'inspire de celle présentée par Rossetti, (2015), dont les étapes sont présentées dans **la Figure 3.2**.

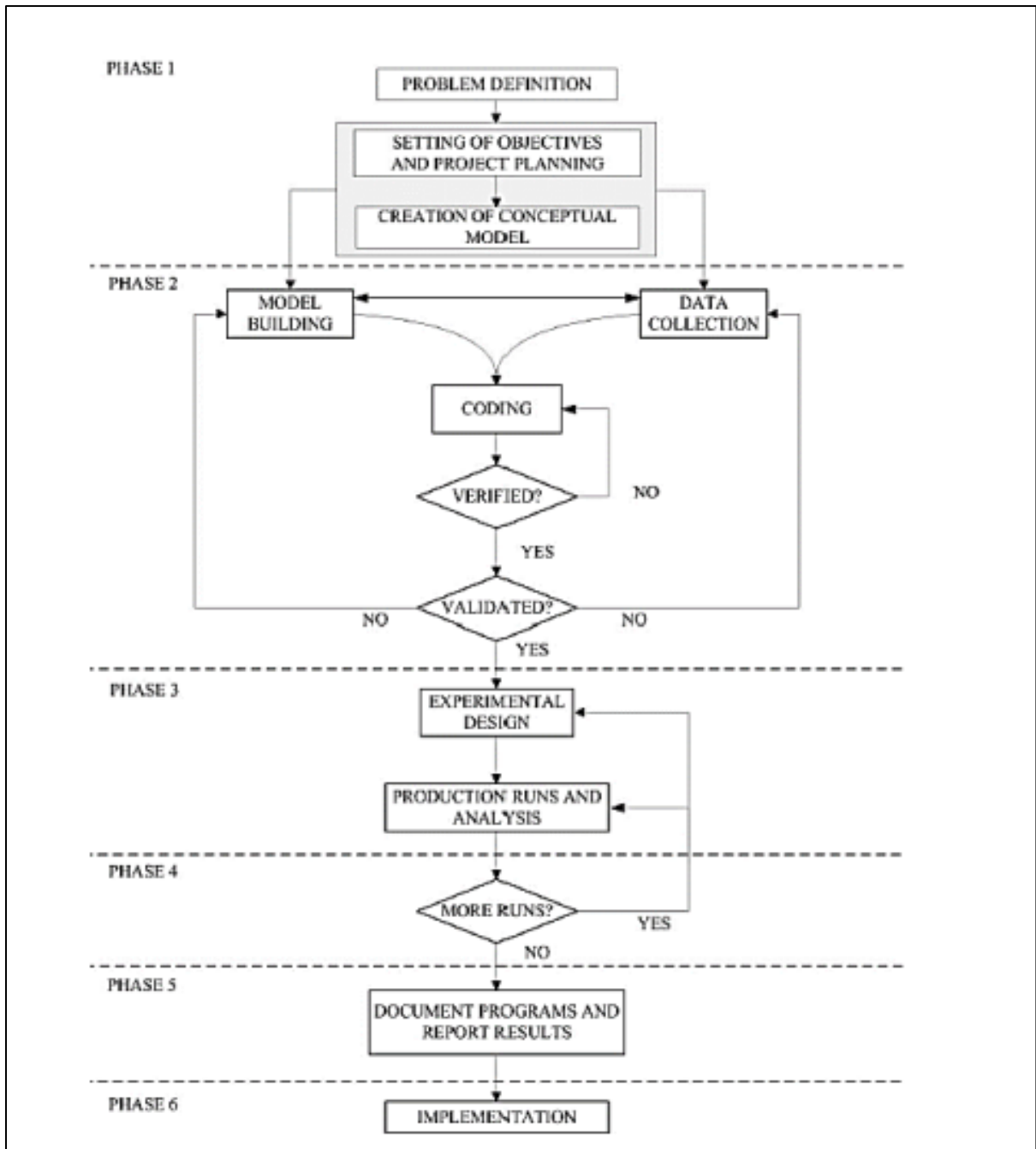


Figure 3.2 Schéma de la méthode de conception du modèle de simulation DES

3.3.1 Phase 1 : Définition fonctionnelle et technique

Cette phase constitue la première étape de la méthode de modélisation du projet. Son objectif est de définir les problèmes inhérents au réseau de transport, de préciser les objectifs visés par la simulation, d'élaborer le système à partir d'un schéma conceptuel, de sélectionner les approches de modélisation à adopter, de présenter les scénarios à tester, de déterminer les indicateurs clés de performance à surveiller, de spécifier les entrées du modèle, de concevoir le modèle conceptuel (schéma, cartographie, etc.), d'établir les hypothèses et de les documenter. Ces diverses tâches seront examinées en détail dans le chapitre 4, où elles seront appliquées aux processus de transport dans la région des Laurentides.

3.3.2 Phase 2 : Conception du modèle de simulation

Cette étape consiste à développer le modèle de simulation à l'aide du logiciel choisi. Dans ce cas, le logiciel AnyLogic s'apprête particulièrement bien à la conception du réseau de transport, car il permet d'intégrer plusieurs approches de modélisation au sein d'un même modèle (**Borshchev, 2013**). Les données collectées sont intégrées sous forme de paramètres, variables, ressources, et autres éléments nécessaires. Une fois le modèle construit, des ajustements seront effectués pour garantir que le système reflète le plus fidèlement possible la réalité. **La Figure 3.3** présente une vue d'ensemble des agents utilisés dans le modèle de simulation pour représenter le réseau de transport :

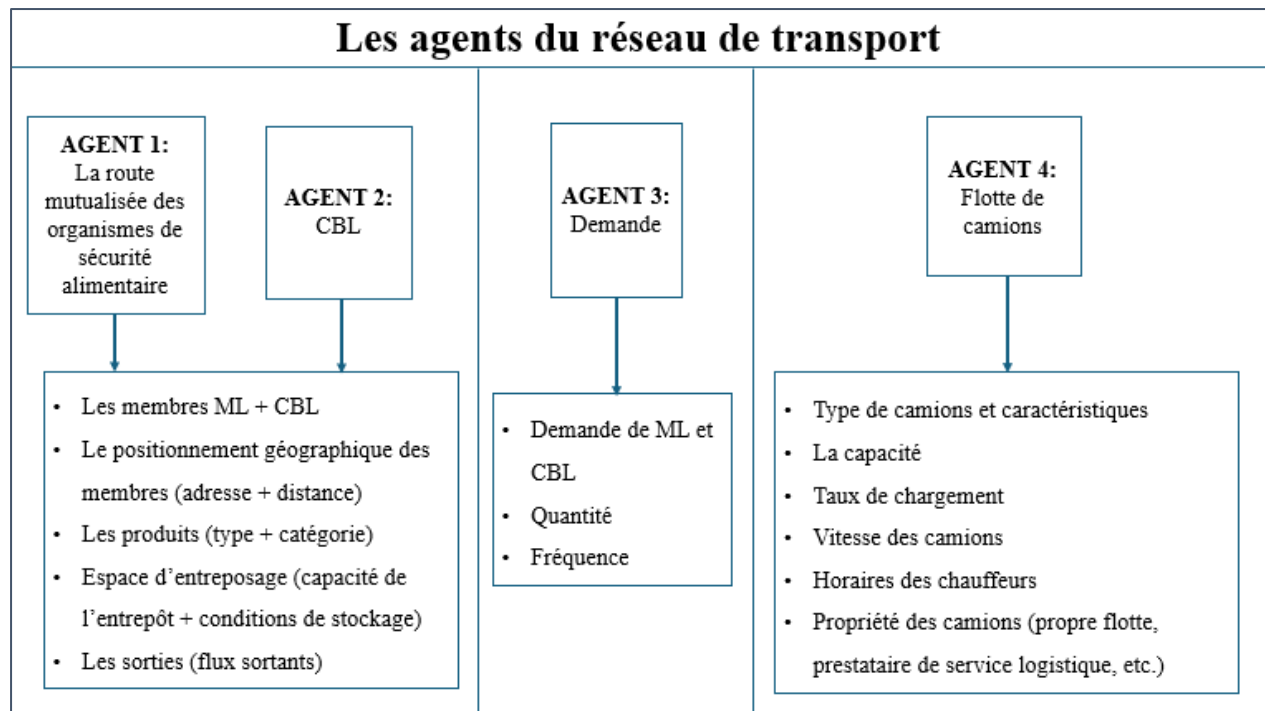


Figure 3.3 Les agents du réseau de transport

Cette figure illustre les principaux agents impliqués dans un réseau de transport mutualisé pour la sécurité alimentaire. L'**Agent 1** représente les routes mutualisées des organismes, incluant les membres du réseau (ML et CBL), leurs emplacements géographiques, les types de produits transportés, les capacités d'entreposage et les flux sortants. L'**Agent 2**, le CBL, est intégré à ce réseau et partage des fonctions similaires. L'**Agent 3** est centré sur la demande, précisant les besoins en produits des membres en termes de quantité et de fréquence. Enfin, l'**Agent 4** concerne la flotte de camions, décrivant leurs caractéristiques (type, capacité, vitesse), les taux de chargement, les horaires des chauffeurs, ainsi que la propriété des véhicules (flotte propre ou prestataires). Cette modélisation met en lumière les interactions et la coordination nécessaires pour optimiser ce réseau logistique.

3.3.2.1 La préparation du sondage

La **Figure 3.4** décrit les différentes étapes de la création du sondage. La première étape du processus de préparation consiste à déterminer les éléments nécessaires à recueillir pour élaborer les modèles de simulation et d'optimisation. Nous cherchons à obtenir des

informations sur la localisation et la capacité des entrepôts, le flux des marchandises, les caractéristiques des produits (périssables/ non périssables/ secs périssables/ froids et congelés), les véhicules disponibles (type, caractéristiques, nombre, propriété), les horaires de travail, les coûts annuels de transport, la fréquence des transports (niveau de service), les ressources disponibles, etc.

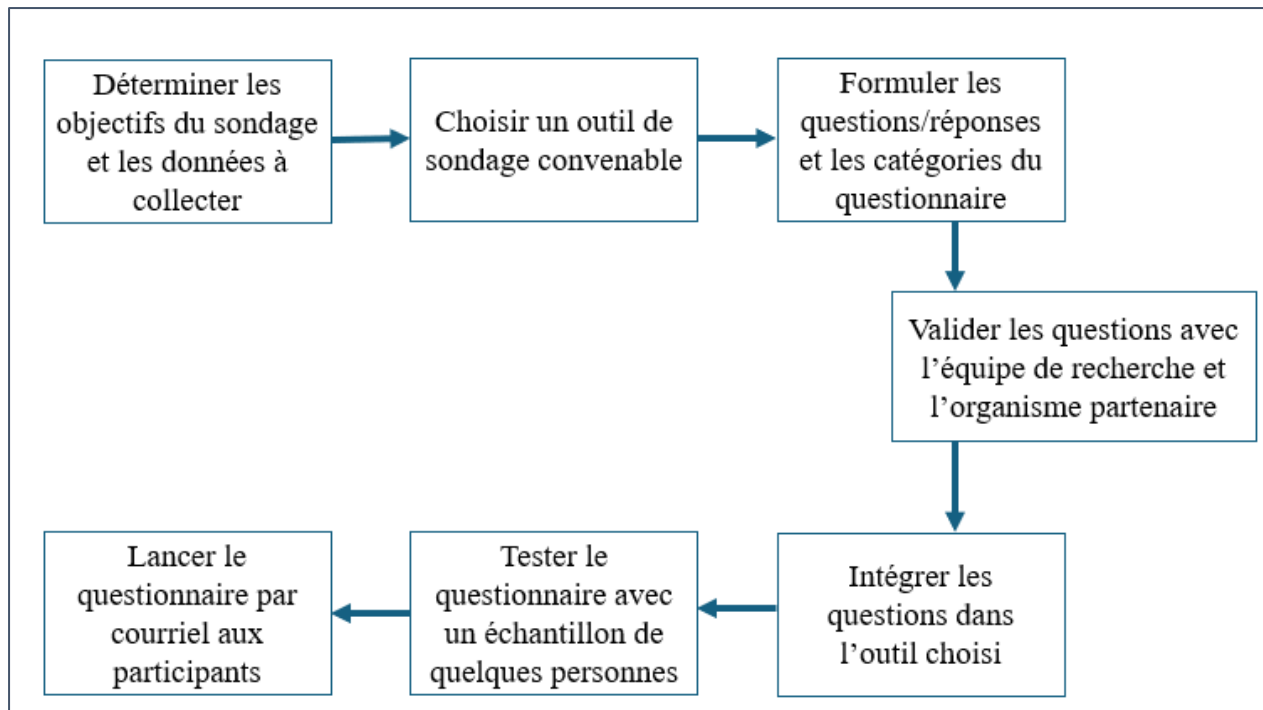


Figure 3.4 Les étapes de la préparation du sondage

3.3.2.2 Création d'un modèle mathématique d'affectation

Ce modèle mathématique a pour objectif de concevoir un horaire de livraison pour les denrées alimentaires en assignant les tournées de véhicules aux différents jours de la semaine. Il vise à optimiser la planification des opérations de transport afin de garantir une gestion efficace des ressources et des délais. Les aspects spécifiques de ce problème d'optimisation, y compris les méthodes et les critères utilisés pour élaborer ce calendrier, seront détaillés dans le chapitre 4.

3.3.2.3 VRP Spreadsheet Solver, création d'un modèle mathématique et programmation

Partant du fait que nous débutons notre travail sans disposer de la totalité des plans de transport nécessaires, il est crucial de trouver un outil adapté pour concevoir les tournées de véhicules, qu'elles soient mutualisées ou non, pour la livraison des denrées alimentaires. Pour ce faire, nous avons exploré et utilisé plusieurs outils d'optimisation, tels que le VRP Spreadsheet Solver¹³, Spyder¹⁴, Gurobi¹⁵, etc.

Après avoir élaboré les tournées de véhicules, nous les intégrerons dans notre modèle de simulation, où elles seront représentées sous la forme d'une collection de trajets. Cela permettra une analyse approfondie et une gestion optimisée des tournées de livraison. Pour ce faire, nous avons développé un modèle mathématique d'optimisation pour la cueillette et livraison. Nous avons ensuite formulé des instances spécifiques.

3.3.3 Phase 3 et 4 : Expérimentation et analyse des résultats

Une fois les routes de transport bien planifiées, il sera temps de tester différents scénarios en variant les paramètres du modèle ou en intégrant de nouveaux cas. Dans le cadre de notre étude, nous expérimentons la logistique mutualisée en regroupant les opérations de transport de tous les membres de la région au sein d'un réseau mutualisé, écoresponsable et efficient. Ensuite, nous analyserons les résultats en comparant les données du réseau indépendant à celles du réseau mutualisé afin d'évaluer les avantages et les inconvénients de la combinaison des opérations de livraison de denrées alimentaires.

¹³ <https://people.bath.ac.uk/ge277/vrp-spreadsheet-solver/>

¹⁴ <https://www.spyder-ide.org/>

¹⁵ <https://www.gurobi.com/>

3.3.4 Phase 5 et 6 : Documentation et implémentation

Ces dernières phases visent à consolider le scénario de mutualisation des opérations de transport en déterminant les étapes nécessaires à la conception du réseau et en démontrant l'application des résultats dans la réalité.

3.4 Les résultats et les expérimentations

Cette section porte sur l'étape 5 mentionnée au début du chapitre, qui implique l'analyse des résultats des modèles de simulation mutualisés et non mutualisés. Nous y établirons les plans d'expérience utilisés, les scénarios testés ainsi que les variations des paramètres.

3.5 La conclusion

La section finale présente la contribution de ce projet dans la littérature, notre position par rapport aux objectifs de la recherche, les lacunes, les défis, et ouvre un horizon pour des recherches futures.

CHAPITRE 4

Outils d'aide à la décision hybride pour le modèle de transport de la région des Laurentides

Ce chapitre décrit d'abord les échanges et rencontres avec l'organisme partenaire, suivis du processus de collecte de données et de l'enquête menée auprès des membres. Après l'analyse des données, nous avons élaboré des tournées de transport et des horaires de livraison à l'aide d'un modèle d'optimisation. Les résultats obtenus ont ensuite servi de données d'entrée pour un modèle de simulation reproduisant la logistique et le transport alimentaire actuels dans la région des Laurentides. À partir de cette simulation, nous avons conçu un réseau de transport mutualisé, écoresponsable et optimisé, dont la performance a été évaluée en comparaison avec le modèle initial.

4.1 La définition fonctionnelle et technique

4.1.1 La définition du problème

Comme nous l'avons bien expliqué dans les chapitres précédents, les membres du CBL effectuent leurs opérations de transport de manière indépendante. Vu la capacité limitée de leurs véhicules, le chauffeur réalise plusieurs allers-retours durant une même journée, afin de récupérer et par la suite livrer les denrées alimentaires aux clients, ce qui impose des retards de livraisons, la surexploitation des ressources, la hausse d'émission de CO₂, l'embouteillage, etc.

4.1.2 La collecte de données

Les informations détaillées concernant les rencontres virtuelles entre l'équipe de recherche de l'UQAM et le CBL, ainsi que le processus de lancement du questionnaire, seront présentés en **Annexe C**. Ces données incluent une description des défis logistiques identifiés, de la méthodologie utilisée, et des objectifs établis pour le projet. Les étapes de préparation du sondage, comprenant la conception des questions, le choix des outils d'enquête, les défis rencontrés, ainsi que les interactions avec le CBL pour valider et distribuer le questionnaire, seront également détaillées.

Un autre point clé documenté en annexe est l'annonce officielle de la fermeture du CBL. À la suite de cette décision, nous avons exploré les possibilités de poursuite du projet. Nous avons sélectionné un échantillon représentant 10 membres, incluant des producteurs et des transformateurs, pour lesquels nous avons mené des recherches approfondies. Cette analyse a porté sur des aspects tels que les clients desservis, les types de produits distribués, les emplacements géographiques, les tournées et les calendriers de livraison déjà établis, le cas échéant. **L'Annexe D** présente le nombre de clients desservis par chaque membre.

4.2 La conception des modèles de simulation et d'optimisation

Cette section détaille la conception des modèles d'optimisation et de simulation développés pour analyser les scénarios **mutualisés** et **non mutualisés** du réseau de transport. Elle est structurée en plusieurs sous-sections, chacune abordant un aspect spécifique de la définition fonctionnelle et technique du projet. La **Figure 4.1** illustre le processus d'optimisation et de simulation, dans lequel les données collectées sont utilisées pour créer deux modèles d'optimisation (affectation et routage de cueillette et livraison), suivis de deux scénarios de simulation (mutualisé et non mutualisé), permettant ainsi l'analyse et la comparaison des résultats obtenus.

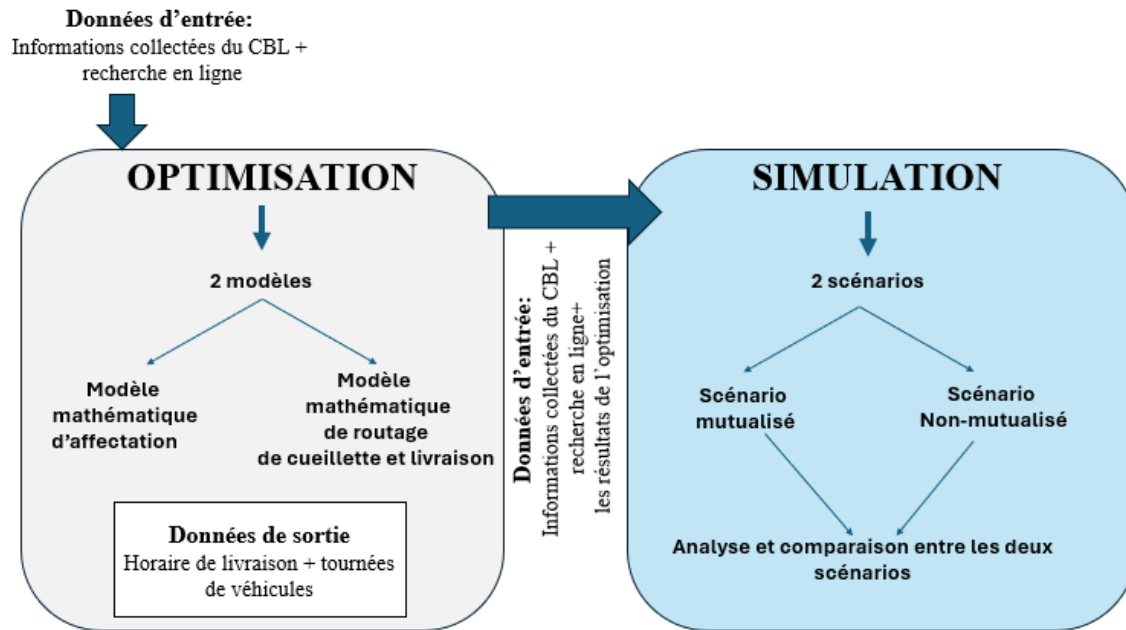


Figure 4.1 Schéma des modèles d'Optimisation et de Simulation

Tout d'abord, la section 4.2.1 présente les modèles d'optimisation élaborés et les résultats obtenus. Elle inclut une analyse des solutions générées, en particulier les tournées de livraison optimisées, décrites plus en détail dans la sous-section 4.2.1.1.

Ensuite, la section 4.2.2 est consacrée aux modèles de simulation et à leur évaluation. Cette analyse repose sur deux approches distinctes :

- La sous-section 4.2.2.1 décrit le **scénario non mutualisé**, en exposant les caractéristiques du système actuel ainsi que les approches de simulation adoptées pour en modéliser le fonctionnement.
- La sous-section 4.2.2.2 présente le **scénario mutualisé**, en définissant les ajustements apportés au modèle pour intégrer un réseau de transport partagé et optimiser la logistique.

L'objectif de cette section est d'examiner l'impact de la mutualisation sur les performances du réseau, en comparant les résultats obtenus dans les deux configurations. Cette comparaison permet d'évaluer la pertinence de la mise en place d'un système de transport mutualisé, tant du point de vue des coûts que de l'efficacité opérationnelle et environnementale.

Le réseau de transport actuel des denrées alimentaires dans la région des Laurentides

Considérons que chacun des onze membres du CBL dispose d'une flotte de camions homogène et vise à répondre de façon autonome aux demandes de ses clients, répartis dans diverses régions telles que les Laurentides, Laval, Montréal, la Montérégie, les Cantons de l'Est, Ottawa, Québec, Lanaudière, etc. La figure suivante présente la cartographie des étapes clés de la livraison des marchandises. Cette cartographie sera traduite en un modèle de simulation en utilisant les modules disponibles dans la bibliothèque du logiciel AnyLogic. La Figure 4.1 illustre le processus de livraison des marchandises. Le camion commence par se rendre à l'entrepôt pour charger les denrées alimentaires. Une fois le chargement terminé, il suit la tournée de livraison planifiée et se rend chez les clients selon l'horaire établi. À chaque destination, le camion décharge les marchandises. Lorsque tous les clients de la tournée ont été servis, le camion retourne à l'entrepôt. **Les Figures 3.1, 3.2 (du chapitre 3) et 4.2** s'inscrivent dans une continuité logique : la première définit la méthodologie globale, la deuxième détaille les phases de conception et de validation, et la troisième illustre l'application concrète dans un cas spécifique de logistique alimentaire. Ensemble, elles permettent de passer de la théorie à la pratique en s'appuyant sur une approche méthodique et structurée.

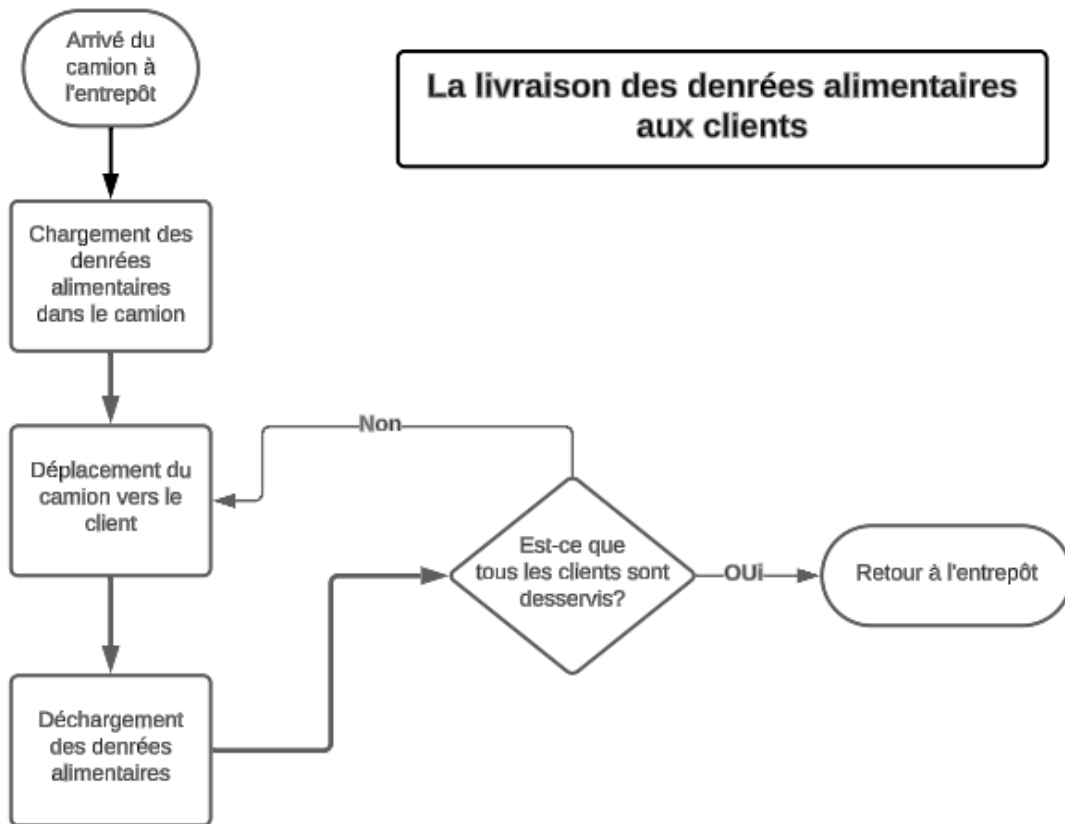


Figure 4.2 Cartographie simple du processus de livraison des marchandises aux clients

Les intrants du modèle et les données recueillies

Les informations concernant les clients et leurs adresses sont obtenues à partir d'une recherche sur le site web des membres. Le CBL, Moisson Laurentides et les clients sont localisés sur une carte géographique intégrée au modèle de simulation, en utilisant leur adresse complète, sous forme de points GIS (définis par une latitude et une longitude précise). La **Figure 4.3** offre un aperçu de cette carte, qui regroupe l'ensemble des points GIS utilisés dans le modèle de simulation.



Figure 4.3 Positionnement géographique du CBL, de ML et des membres

Nous avons défini un agent client et un agent camion pour chaque membre. Les vitesses des camions sont modélisées en considérant une distribution uniforme entre 50 et 95 kilomètres par heure. Cette variabilité est essentielle pour refléter les conditions réelles de transport, où plusieurs facteurs, tels que la densité du trafic, les incidents routiers, la charge du véhicule et les pauses pendant le trajet, peuvent influencer la vitesse de déplacement (voir l'**annexe D** pour la vitesse de chaque camion).

Le CBL nous a communiqué l'horaire de livraison de Moisson Laurentides, qui dessert 21 organismes de la région. Cette distribution est planifiée en quatre tournées successives : la première a lieu le lundi, la deuxième le mardi, la troisième le mercredi et enfin la quatrième le jeudi. Pour représenter les tournées dans notre modèle, nous avons groupé les points géographiques des clients en 11 ensembles distincts, chaque ensemble correspondant aux clients d'un membre spécifique du CBL.

4.2.1 Les modèles d'optimisation et leurs résultats

En l'absence d'un horaire de livraison établi pour les membres du CBL, il a notamment fallu définir des horaires à intégrer dans le modèle de simulation. Bien que nous disposions déjà des informations sur les clients et leurs adresses, il était crucial de planifier les visites de manière que les distances entre les clients successifs soient

raisonnables. Pour cela, la création des plans de transports s'est avérée nécessaire, et trois outils d'optimisation ont été développés.

Dans un premier temps, nous avons créé des routes à l'aide de l'outil VRP Spreadsheet solver qui nous a permis d'avoir une première version des routes possibles. VRP consiste à planifier le transport des véhicules en déterminant les tournées optimales à suivre, d'un ou plusieurs dépôts vers un ou plusieurs sites (clients). Les clients sont géographiquement dispersés; le VRP vise donc à organiser les tournées des véhicules de manière que chaque client soit visité une seule fois par un seul camion. Ce problème prend en compte diverses contraintes, telles que la capacité des véhicules, afin d'optimiser l'efficacité des tournées et de minimiser les coûts de transport (voir **Annexe E**).

Malgré le fait que nous avons réussi à assurer une intégration de l'outil et la création d'un ensemble de tournées réalisables, nous avons constaté rapidement les limites de temps de calcul de l'outil VRP Spreadsheet Solver. Une approche alternative a été adoptée grâce à l'utilisation d'une méthode optimisée de génération des tournées de livraison, en s'appuyant sur la programmation en Python. Cette expérience m'a permis d'être activement impliquée dans le processus de création des tournées, ce qui a contribué au développement de nouvelles compétences en programmation, notamment en Python et en Java.

a) Le modèle mathématique de routage de cueillette et livraison

Avant de passer à la programmation et à l'utilisation du code Java, nous avons tout d'abord défini un modèle mathématique de routage des collectes et des livraisons.

Étape 1 : développement du modèle mathématique de routage

- Définition du modèle de routage de cueillette et livraison :

Le modèle mathématique utilisé s'inspire du travail de **Sampaio et al., (2020)** sur les systèmes de livraison avec conducteurs collaboratifs, tels que présentés dans leur étude sur les problèmes de ramassage et de livraison avec transferts. Le problème de la cueillette et livraison constitue une variante du problème de routage des véhicules, et est largement appliqué dans le domaine de gestion de la chaîne d'approvisionnement. Il planifie le trajet des véhicules, en incluant le ramassage des marchandises d'un point donné, et leur livraison aux destinations correspondantes, tout en respectant les contraintes imposées, telles que les fenêtres de temps, la capacité du véhicule, la visite du client une et une seule fois, etc. Ce problème est composé d'un graphe, joignant des arcs et des nœuds $G = \{N, A\}$. Les nœuds correspondent aux points de cueillette et livraison, soit l'ensemble N . L'ensemble d'arcs est défini comme $\{(i, j), i, j \in N\}$. Le problème sera résolu pour assurer le transport d'un ensemble des marchandises (ou réquisitions de transport), défini dans l'ensemble K . Plus formellement, le problème est défini comme suit:

- Formulation du problème :

Voici la formulation détaillée du modèle :

- Paramètres :

$K = \{0, 1, \dots, k\}$ ensemble de paires origine-destination (les commodités).

$N = \{0, 1, \dots, n\}$ ensemble de nœuds (origine et destination), 0 étant le dépôt.

$A = \{(i, j) \mid \forall i \in N, \forall j \in N \text{ si } i \neq j\}$ ensemble d'arcs.

$L = \{\}$ ensemble de camions, flotte homogène.

- Variables de décision :

➤ x_a^l Variable binaire, $x_a^l = 1$ si le véhicule $l \in L$ utilise l'arc $a \in A$, 0 sinon

➤ f_a^{kl} Variable binaire, $f_a^{kl} = 1$ si la commodité $k \in K$ passe par l'arc $a \in A$ dans le camion $l \in L$, 0 sinon.

- Notation mathématique :

$a^+(n)$ Est l'ensemble des arcs qui entrent dans le nœud $n \in N$.

$a^-(n)$ Est l'ensemble des arcs qui sortent du nœud $n \in N$.

o_k Est l'origine de la commodité $k \in K$.

d_k Est la destination de la commodité $k \in K$.

c_a Est le coût de traverser l'arc $a \in A$.

t_a Est le temps de trajet de l'arc $a \in A$.

T Est le temps limite de conduit d'un camion.

- Le modèle mathématique

La fonction objective est la suivante :

$$\text{Min} \sum_{l \in L} \sum_{a \in A} c_a x_a^l \quad (1)$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{a^-(0)} x_a^l \leq 1 \quad \forall l \in L \quad (2)$$

$$\sum_l \sum_{a^+(n)} x_a^l \leq 1 \quad \forall n \in N \quad (3)$$

$$\sum_{a^-(n)} x_a^l - \sum_{a^+(n)} x_a^l = 0 \quad \forall n \in N \quad \forall l \in L \quad (4)$$

$$\sum_l \sum_{a^+(d_k)} f_a^{kl} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_l \sum_{a^-(o_k)} f_a^{kl} = 1 \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{a^+(n)} f_a^{kl} + \sum_{a^-(n)} f_a^{kl} = 0 \quad \forall n \in N \setminus \{o_k, d_k\} \quad \forall k \in K \quad \forall l \in L \quad (7)$$

$$f_a^{kl} \leq x_a^l \quad \forall k \in K \forall l \in L \forall a \in A \quad \mathbf{(8)}$$

$$\sum_a t_a x_a^l \leq T. \quad \forall l \in L \quad \mathbf{(9)}$$

$$\sum_{i \in S, j \notin S} x_{ij}^l \geq 2 \quad \forall S \subset N \setminus \{0\}, |S| \geq 2 \quad \mathbf{(10)}$$

La fonction objective **(1)** vise à minimiser le coût de routage. La contrainte **(2)** s'assure qu'un camion quitte le dépôt une seule fois (maximum) dans le plan. La contrainte **(3)** force qu'un nœud ne soit visité qu'une seule fois par un seul camion (la somme des arcs qui rentrent dans le nœud n pour toutes les connexions possibles). La contrainte **(4)** est une contrainte de conservation du flux des camions, c.-à-d. la somme des arcs qui sort du nœud n est égale à la somme des arcs qui rentre dans le nœud n . Si un véhicule rentre dans un nœud, il doit sortir du même nœud. La contrainte **(5)** garantit que les marchandises soient livrées à leur destination. La contrainte **(6)** procède de la même façon pour la collecte des marchandises; il faut s'assurer que toutes les commodités ont été collectées. La contrainte **(7)** est une contrainte de conservation des flux pour les commodités (si une commodité k rentre dans un nœud qui n'est pas l'origine ou la destination, elle doit sortir de ce nœud aussi). La contrainte **(8)** est une contrainte de liaison entre les camions et les marchandises, en assurant le transport d'une commodité par le véhicule l . La contrainte **(9)** limite le temps de conduite maximale. Finalement, la contrainte **(10)** est la contrainte d'élimination des sous-tours de Dantzig Fulkerson Johnson.

Étape 2 : Création des instances

L'étape 2 consiste à créer les instances pour chaque membre du CBL en les enregistrant dans des fichiers Excel, qui seront ensuite utilisés comme données d'entrée dans l'interface Gurobi. Nous avons formulé un total de 13 instances, chacune correspondant à un fichier Excel distinct. De plus, nous avons divisé le membre SOS Fondue Inc. en deux instances séparées en raison de son grand nombre de clients, afin de faciliter

l'optimisation et d'améliorer la capacité du solveur à trouver des routes optimales. Le **Tableau 4.1** présente les instances créées :

Tableau 4.1 Les instances formulées

Instances	Membres	Nombres de clients
Instance 1	Moulin Légaré	11
Instance 2	Moisson Laurentides	21
Instance 3	Ah tout cru le bec	42
Instance 4	Ferme la rose des vents	45
Instance 5	Ferme la roquette	7
Instance 6	Ferme aux petits oignons	3
Instance 7	Jolies mi- noix	27
Instance 8	Safran des neiges	8
Instance 9	Les Sans Gaspi	14
Instance 10	Mandys	5
Instance 11	SOS fondue Inc.	100
Instance 12	SOS fondue 1	50
Instance 13	SOS fondue 2	50

Chaque instance doit contenir les informations nécessaires pour le modèle d'optimisation. La **Figure 4.4** est un exemple des instances du membre Mandys Microgreens intégrées dans le fichier Excel.

K	H	L	Type				
5	1	5	a				
K_id	ok	dk	ok_p	dk_p	qk	o_t	d_t
0	1	6	1	6	0	0	480
1	2	7	1	7	0	0	480
2	3	8	1	8	0	0	480
3	4	9	1	9	0	0	480
4	5	10	1	10	0	0	480
n_id	Lat	Long	p_n				
0	45.05	-74	0				
1	46.0577989	-74.4302588	1				
6	46.1307454	-74.5905835	6				
7	45.5167612	-73.5789515	7				
8	45.4797787	-73.5762511	8				
9	45.5366502	-73.6144898	9				
10	46.1939215	-74.6309918	10				

Figure 4.4 Instance du membre Mandys Microgreens dans le fichier Excel

Dans la première partie de la figure, **K** représente le nombre de commodités. Nous avons supposé que le nombre de commodités soit égal au nombre de clients à visiter. Dans le cas de Mandys, nous avons 5 clients à visiter, donc 5 commodités à livrer. **H** représente le nombre de dépôt, soit un dépôt par membre. **L** désigne le nombre de camions assignés pour effectuer la livraison des marchandises. **Type** signifie qu'un seul type de véhicule (homogène) est intégré dans ce processus.

Dans la deuxième partie du tableau :

- **k_id** se réfère à la position de l'élément dans une séquence, l'index python, qui commence toujours par 0.
- **o_k** est le point de départ (fictif) du camion pour livrer les denrées alimentaires aux clients.
- **d_k** est le point d'arrivée (fictif) du camion, c.-à-d. les clients à visiter.
- **ok_p** renvoie au membre du CBL (le point de départ réel), qui est dans ce cas la compagnie Mandys Microgreens.

- **dk_p** représente les 5 clients à visiter (les points d'arrivée réels).
- **qk** symbolise la demande des clients, qui est fixée à 0 pour le moment.
- **o_t** représente le temps de début du trajet des véhicules. Par exemple, lundi après 6h le matin.
- **d_t** fait référence au temps de livraison ou la durée totale de livraison. Nous avons estimé un temps constant de 480 minutes.

Dans la troisième partie du tableau, nous avons identifié la latitude et la longitude du point de départ du camion, le dépôt de Mandys Microgreens ainsi que les clients à visiter.

Étape 3 : Développement du code Java dans Spyder

Nous avons ainsi sélectionné l'environnement Spyder pour tester les instances. Le code retranscrit le modèle mathématique développé à l'étape 2. Spyder (Scientific Python Development Environment) est un environnement de développement intégré (IDE) open-source conçu pour la programmation en Python. En raison du grand nombre de clients à servir et du nombre de variables présentes dans chaque modèle, les expériences ont été lancées sur les serveurs de calcul du CIRRELT. Nous avons également développé une solution heuristique, le Greedy Randomized Constructive Heuristic¹⁶, qui consiste à construire une solution avec certaines incertitudes.

Nous proposons de créer un calendrier journalier et hebdomadaire à partir des tournées fournies par l'optimiseur à l'aide d'un modèle d'affectation. Ceci est expliqué dans la partie **b**.

b) Le modèle mathématique d'affectation

¹⁶ Greedy Randomized Constructive Heuristic (Heuristique constructive gloutonne randomisée) est une méthode d'optimisation qui combine une approche gloutonne et une composante aléatoire pour construire progressivement une solution en explorant différentes possibilités. Elle est couramment utilisée pour résoudre des problèmes combinatoires complexes, notamment en logistique et en routage.

En recherche opérationnelle, les problèmes d'affectation constituent une catégorie d'optimisation visant à assigner efficacement un ensemble d'entités à un autre, tout en optimisant une fonction spécifique. Par exemple, le problème d'affectation fondamental consiste à attribuer un ensemble de tâches à un groupe d'agents, avec la contrainte qu'une tâche ne peut être affectée qu'à un seul agent et qu'un agent ne peut recevoir qu'une seule tâche au maximum. L'objectif principal est de minimiser ou de maximiser le coût total de l'affectation, en fonction des exigences et des contraintes du problème.

Dans notre cas, nous cherchons à affecter les tournées de véhicules aux différents jours de la semaine afin d'établir un calendrier de transport des denrées alimentaires. En d'autres termes, ce modèle d'affectation permet de planifier les tournées qui seront effectuées du lundi au vendredi. Nous avons considéré que le samedi et le dimanche sont des jours fériés, de sorte qu'aucune opération de transport ne peut avoir lieu ces jours-là.

Développement du modèle mathématique d'affectation

- Définition du modèle d'affectation

Ce modèle vise à optimiser l'affectation des tournées aux jours de la semaine de manière à minimiser la durée de la journée la plus longue. L'objectif est d'équilibrer les durées de travail entre les jours tout en respectant les contraintes d'affectation.

- Formulation du problème :

En considérant la solution d'une instance précise, nous identifions l'ensemble de tournées I . Ce modèle cherche à trouver l'affectation optimale des tournées aux jours de la semaine (ensemble T). Le but du problème est de minimiser la journée la plus longue, et ainsi avoir des jours le plus équilibrés possible (de durée similaire).

Voici la formulation détaillée du modèle :

- Ensemble :
 - Soit I l'ensemble des tournées, $I = \{R1, R2, R3, R4, \dots, RN\}$.
 - Soit T l'ensemble des jours de la semaine, $T = \{\text{Lundi, Mardi, Mercredi, Jeudi, Vendredi}\}$.

- Paramètres :

Soit d_i la durée totale de la tournée i .

- Variables de décision
 - z = Temps de travail total
 - z_t = Temps de travail total de la journée t
 - x_{it} Variable binaire, $x_{it} = 1$ si la tournée i est affecté à la journée t , 0 sinon.

- Fonction objective

$$\text{Min } \sum z \quad (1)$$

- Contraintes :

$$\sum_{i \in I} d_i x_{it} = z_t \forall t \in T \quad (2)$$

$$z \geq z_t \forall t \in T \quad (3)$$

La fonction objective du modèle **(1)** vise à minimiser le temps de travail total maximal sur l'ensemble des jours de la semaine. La contrainte **(2)** garantit que la durée totale de toutes les tournées planifiées pour chaque jour est correctement prise en compte dans le temps de travail total attribué à ce jour. Cette contrainte permet de planifier les tournées de manière que le temps de travail soit réparti de manière précise pour chaque jour. La contrainte **(3)** définit le temps de travail maximal comme la limite supérieure du temps de travail quotidien.

4.2.1.1 Les tournées de livraison générées par l'optimiseur

L'optimiseur utilisé dans cette étude a été conçu pour générer des tournées selon deux configurations : mutualisées et non mutualisées. Dans le cas mutualisé, les ressources (par exemple, les véhicules ou les conducteurs) sont partagées entre différents clients ou zones géographiques, permettant ainsi une optimisation globale. En revanche, dans le cas non mutualisé, chaque client ou zone dispose de ses propres ressources exclusives, entraînant des tournées distinctes pour chaque entité. Cette double approche permet de comparer les performances des deux systèmes et d'évaluer l'impact de la mutualisation sur l'efficacité des livraisons.

1. Les tournées de véhicules dans le cas de la non mutualisation

L'optimiseur a généré les résultats des tournées des véhicules pour les instances non mutualisées. Au total, le modèle a déterminé 18 tournées de véhicules distinctes nécessaires pour couvrir toutes les livraisons requises. Chaque tournée est planifiée de manière à optimiser la distribution des livraisons et le temps de travail, en tenant compte des contraintes spécifiques de chaque instance non mutualisée. Ainsi, pour chaque ensemble de données, le nombre total de tournées nécessaires pour effectuer toutes les livraisons est calculé, et celles-ci sont définies de manière à maximiser la performance tout en minimisant le temps de transport total. Chaque tournée est effectuée par un seul camion. Ces itinéraires sont ensuite intégrés dans le modèle mathématique d'affectation afin de déterminer un horaire de livraison précis. Les tournées sont planifiées de manière à être attribuées aux jours de la semaine, tout en équilibrant le temps de travail et en respectant les contraintes temporelles. Cette approche considère toujours chaque membre de façon indépendante, avec sa propre flotte de camions.

Le Tableau 4.2 fournit ainsi une vue d'ensemble claire de la répartition des tournées, des durées associées et des horaires de livraison prévus pour chaque membre.

Tableau 4.2 Les tournées de véhicules non mutualisées

Membres	Nombre de tournées	Durée totale de chaque tournée (en minutes)	Horaire de livraison
Moisson Laurentides	Tournée 1	465	Lundi
Ah tout cru	Tournée 2	600	Mercredi
	Tournée 3	600	Lundi
	Tournée 4	270	Mercredi
	Tournée 5	150	Lundi
Mandys	Tournée 6	180	Lundi
Ferme aux petits oignons	Tournée 7	90	Lundi
Les Sans Gaspi	Tournée 8	315	Mardi
SOS fondue Inc.	Tournée 9	600	Mercredi
	Tournée 10	600	Mardi
	Tournée 11	450	Mardi
Safran des neiges	Tournée 12	120	Mardi
Ferme la rose des vents	Tournée 13	600	Jeudi
	Tournée 14	600	Vendredi
	Tournée 15	405	Jeudi
Jolies mi- noix	Tournée 16	600	Vendredi
	Tournée 17	450	Jeudi
Ferme la roquette	Tournée 18	165	Vendredi

2. Les tournées de véhicules dans le cas de la mutualisation

En raison de la grande taille et de la complexité de ces instances, Gurobi ne parvient pas à trouver une solution optimale dans un délai raisonnable. En effet, pour des problèmes de cette envergure, la capacité de calcul devient un facteur limitant, et Gurobi rencontre des difficultés à résoudre ces instances dans les temps impartis. Pour surmonter cette contrainte, nous avons testé différentes combinaisons de paramètres et de configurations, avec un nombre limité des membres qui seront mutualisés. Dans ce cas, les membres, considérés comme mutualisés, sont intégrés dans une seule instance afin que le solveur puisse générer un plan de transport en regroupant toutes les réquisitions de transport sur une flotte commune (sans distinction entre les membres

mutualisés). Les membres non inclus dans cette instance mutualisée sont considérés comme indépendants.

La construction de différents scénarios de mutualisation nous a permis de générer un ensemble de solutions potentielles, que nous avons ensuite évaluées pour identifier les meilleures options en termes d'efficacité et de faisabilité. Bien que nous n'ayons pas pu explorer exhaustivement toutes les combinaisons possibles, nous avons testé un sous-ensemble cohérent des mutualisations potentielles. Cette méthode nous a ainsi permis de contourner les limitations du solveur tout en obtenant des solutions pertinentes pour les tournées des véhicules, et d'apporter une première réponse à la question de l'intérêt de la mutualisation des ressources dans un réseau régional. **Le Tableau 4.3** présente les différents scénarios de mutualisation testés.

Tableau 4.3 Les scénarios à tester dans le cadre des routes mutualisées

Scénarios testés	Membres Mutualisés	Membres non mutualisés
Scénario 1	Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré (7 membres)	Jolies Mi-Noix, Ah tout cru le bec, Ferme la rose des vents, SOS fondue Inc. (4 membres)
Scénario 2	Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré, Jolies mi- noix (8 membres)	Ah tout cru le bec, Ferme la rose des vents, SOS fondue Inc. (4 membres)
Scénario 3	Ah tout cru le bec, Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré, Jolies mi- noix (9 membres)	Ferme la rose des vents, SOS fondue Inc. (2 membres)
Scénario 4	Ferme la rose des vents, Ah tout cru le bec, Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré, Jolies mi- noix (10 membres)	SOS fondue Inc. (1 membre)

Les combinaisons mutualisées ont été évaluées au sein de l’environnement Gurobi. Pour chaque scénario mentionné dans le **Tableau 4.3**, Gurobi a généré les tournées optimisées des véhicules pour les différentes instances mutualisées. Une fois ces tournées définies, les tournées indépendantes (non mutualisées) et mutualisées sont intégrées dans un modèle d’affectation afin d’assigner les tournées de livraison aux jours spécifiques de la semaine.

Les **Tableaux 4.4 à 4.7** illustrent les routes mutualisées pour les quatre scénarios proposés, ainsi que l’horaire de livraison correspondant. Par exemple, le **Tableau 4.4** présente une vue d’ensemble de l’organisation hebdomadaire des tournées de transport pour différents dépôts. Chaque tournée est associée à un dépôt spécifique, une durée totale en minutes, et un jour de la semaine dédiée. La première tournée, réalisée le mardi, part du dépôt Safran des Neiges et dure 600 minutes. La deuxième tournée, programmée le mercredi, est organisée depuis le dépôt Mandys Microgreens et a également une durée de 600 minutes. Enfin, la troisième tournée, effectuée le jeudi, débute au dépôt Moulin Légaré et dure 495 minutes.

Tableau 4.4 Les tournées mutualisées et les horaires de livraison (Scénario 1)

Catégorie 1	Dépôt	Durée totale de la tournée (en minutes)	Jour de la semaine
Tournée 1	Safran des neiges	600	Mardi
Tournée 2	Mandys Microgreens	600	Mercredi
Tournée 3	Moulin Légaré	495	Jeudi

Tableau 4.5 Les tournées mutualisées et les horaires de livraison (Scénario 2)

Catégorie 2	Dépôt	Durée totale de la tournée (en minutes)	Jour de la semaine
Tournée 1	Les Sans Gaspi	600	Lundi
Tournée 2	Mandys Microgreens	600	Mardi
Tournée 3	Jolies_mi_noix	540	Mercredi
Tournée 4	Jolies_mi_noix	600	Jeudi
Tournée 5	Jolies_mi_noix	420	Vendredi

Tableau 4.6 Les tournées mutualisées et les horaires de livraison (Scénario 3)

Catégorie 3	Dépôt	Durée totale de la tournée (en minutes)	Jour de la semaine
Tournée 1	Mandys Microgreens	600	Lundi
Tournée 2	Ferme la roquette	600	Mardi
Tournée 3	Jolies_mi_noix	600	Mardi
Tournée 4	Jolies_mi_noix	600	Mercredi
Tournée 5	Les Sans Gaspi	600	Jeudi
Tournée 6	Moulin Légaré	600	Jeudi
Tournée 7	Jolies_mi_noix	585	Vendredi

Tableau 4.7 Les tournées mutualisées et les horaires de livraison (Scénario 4)

Catégorie 4	Dépôt	Durée totale de la tournée (en minutes)	Jour de la semaine
Tournée 1	Jolies_mi_noix	600	Lundi
Tournée 2	Moisson Laurentides	600	Lundi
Tournée 3	Moisson Laurentides	600	Mardi
Tournée 4	Jolies_mi_noix	630	Mardi
Tournée 5	Jolies_mi_noix	600	Mercredi
Tournée 6	Ferme la roquette	600	Mercredi
Tournée 7	Jolies_mi_noix	600	Jeudi
Tournée 8	Ah Tout Cru le bec	600	Jeudi
Tournée 9	Ferme la rose des vents	600	Vendredi
Tournée 10	Jolies_mi_noix	225	Vendredi

4.2.2 Les modèles de simulation et leurs résultats

Scénarios et KPI du réseau de transport de la région des Laurentides

La création d'un réseau de transport mutualisé, écoresponsable et efficient constitue l'objectif principal de ce projet. Le réseau de transport actuel rencontre des problèmes majeurs qui nuisent aux opérations de livraison. Le premier modèle de simulation est un modèle de base qui représente les activités de livraison des denrées alimentaires

dans la région des Laurentides. Le deuxième modèle permet à son tour de mutualiser les opérations de livraison, de sorte que le dépôt d'un membre puisse desservir le client d'un autre membre. La mutualisation, en d'autres termes, assure le partage des ressources entre les membres, qu'il s'agisse des camions, des dépôts, des chauffeurs, etc.

Afin de comparer le scénario mutualisé au scénario non mutualisé, nous avons retenu les KPIs suivants :

- Le taux d'utilisation de la ressource camion, en prenant en compte le temps disponible des véhicules se déplaçant sur la carte géographique;
- La durée totale de chacune des tournées, c'est-à-dire le temps total nécessaire au camion pour livrer les marchandises, depuis le dépôt (point de départ), en visitant tous les nœuds, puis en retournant au dépôt initial. Cet indicateur permet d'évaluer les coûts opérationnels du transport.

L'obtention de ces indicateurs de performance exige un travail de modélisation approprié et rigoureux, sachant qu'il s'agit de comparer les trajets des véhicules non mutualisés et mutualisés afin d'interpréter les bénéfices d'un plan de transport régional homogène.

4.2.2.1 Cas non mutualisé : Définition du système actuel à modéliser et approche de simulation retenue

I. Définition du système actuel non mutualisé

Le système à modéliser comprend les opérations de livraison de denrées alimentaires pour les 10 membres du CBL, ainsi que pour Moisson Laurentides. Les données recueillies — tournées des véhicules, horaires, etc. — serviront de données d'entrée au modèle de simulation. Les approches de modélisation ABM et DES seront utilisées dans ce projet afin de reproduire la réalité du transport dans cette région. Dans cette perspective, le **Tableau 4.8** présente les composants du modèle, qui seront modélisés à

l'aide du logiciel AnyLogic, largement adapté à la modélisation de systèmes complexes dans divers domaines tels que la logistique, la gestion de la chaîne d'approvisionnement, et les soins de santé. Dans le secteur de la gestion des opérations, ce programme permet de concevoir des scénarios tels que la planification des tournées, la gestion des stocks, etc. Sa flexibilité et sa capacité à traiter des problèmes à grande échelle nous ont conduits à le choisir pour notre projet de mutualisation.

Tableau 4.8 Les composantes du modèle de simulation

Composantes du modèle	Explication	Approche
Agents camions	Chaque membre possède une flotte homogène de camions qui livrent les denrées alimentaires depuis le dépôt aux clients spécifiques à ce membre.	ABM/DES
Agents clients	Ces agents représentent les points de livraison où les camions déchargent les denrées alimentaires.	ABM/DES
Carte GIS	La carte représente géographiquement le réseau de transport et englobe les points GIS relatifs aux dépôts et aux clients (chaque membre est considéré comme un dépôt).	ABM/DES
Horaires de livraison	Le modèle mathématique d'affectation a généré un horaire de livraison, qui a ensuite été intégré sous forme de Schedule pour chacun des membres	ABM/DES
Paramètre du nombre de camions	À la suite des résultats du solveur, nous avons obtenu les tournées de véhicules. A chaque tournée, un camion est assigné	ABM/DES
Collection des routes	Les résultats du solveur ont permis de créer une collection de tournées. Chaque collection inclut les tournées de véhicules dédiées.	ABM/DES
Ressources camions	Une ressource "camion" est créée pour chaque flotte de camions. Le camion est l'agent qui permet le transport des denrées et qui rentre dans le premier module SOURCE.	ABM/DES
Arrivée des camions	Le camion arrive au dépôt avant de commencer la livraison ou en cours de tournée pour recharger les denrées alimentaires	ABM/DES
Chargement des denrées	Le camion stationne devant le dépôt afin de charger les denrées selon le nombre de clients à visiter durant la journée	ABM/DES
Déchargement des denrées	Une fois arrivé chez le client, le chauffeur stationne pour décharger les denrées alimentaires et les déposer à l'endroit désigné.	ABM/DES

Le déplacement vers le client ou le dépôt	Durant la tournée, le camion se déplace d'un nœud à un autre afin d'assurer la livraison des denrées	ABM/DES
--	--	---------

II. Les hypothèses du système à modéliser

Dans cette partie, nous présenterons les hypothèses et les suppositions considérées dans le modèle de simulation afin de garantir une certaine représentativité de la réalité. Bien que plusieurs facteurs puissent affecter le réseau de transport dans la vie réelle, tels que la congestion, les conditions météorologiques, les pannes de véhicules ou la rupture de stock, ils ne sont pas intégrés directement dans le modèle d'optimisation, qui reste déterministe. Toutefois, le modèle de simulation permet d'inclure certaines sources d'incertitude à l'aide de paramètres stochastiques. Le **Tableau 4.9** illustre les hypothèses fondamentales qui sous-tendent le modèle de simulation étudié. Tout d'abord, la durée des opérations de chargement et de déchargement est supposée suivre une loi uniforme, variant entre 10 et 20 minutes, reflétant une estimation réaliste des fluctuations de ces activités. Ensuite, la vitesse des camions est également modélisée selon une distribution uniforme, oscillant entre 50 et 100 kilomètres par heure, afin de tenir compte des différentes conditions routières et des performances des véhicules. Par ailleurs, il est supposé que les camions commencent leurs tournées de livraison chaque matin à 8 heures, ce qui standardise les horaires de départ et facilite la coordination des activités logistiques. Enfin, la simulation est conçue pour se dérouler sur une semaine type, permettant ainsi d'obtenir une vision globale et représentative des opérations sur une période standard.

Tableau 4.9 Les hypothèses du modèle de simulation

Paramètres	Hypothèses
La durée des opérations de chargement et déchargement	Ces opérations suivent une loi uniforme variant entre 10 et 20 minutes.
La vitesse des camions	La vitesse suit une distribution uniforme variant entre 50 et 100 kilomètres par heure.
Les horaires de livraison	Nous supposons que les camions commencent leurs tournées le matin à 8:00 AM
La durée de la simulation	Nous cherchons à exécuter la simulation sur une semaine type.

III. La présentation du modèle de simulation

Dans cette section, nous détaillons la logique de modélisation mise en œuvre dans AnyLogic pour la conception des tournées de véhicules. La méthode de modélisation varie selon le nombre de tournées attribuées à chaque membre : un membre disposant d'une seule tournée est modélisé différemment d'un membre ayant plusieurs tournées.

- **Modélisation avec une seule tournée** : la Figure 4.5 illustre le processus de modélisation du membre "Mandys Microgreens", qui dispose d'une seule tournée. Cette modélisation vise à optimiser les trajets pour une tournée de livraison unique.

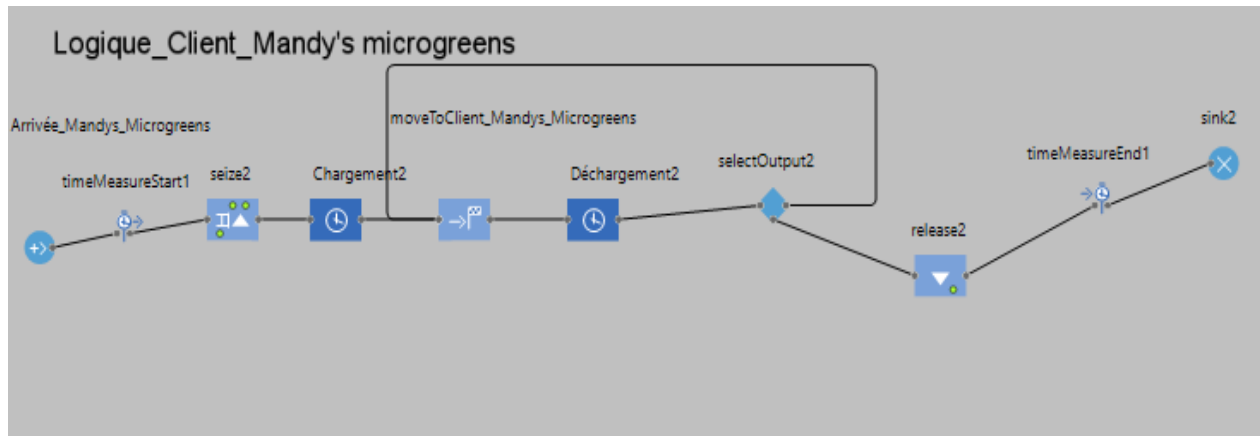


Figure 4.5 Logique Mandys Microgreens (1 tournée)

- **Modélisation avec plusieurs tournées** : La Figure 4.6 représente le processus logistique des camions pour le client Ah Tout Cru Le Bec 1, incluant trois tournées distinctes. Ce modèle illustre une gestion logistique optimisée avec plusieurs tournées, garantissant la couverture des livraisons tout en optimisant les ressources et le suivi des opérations.

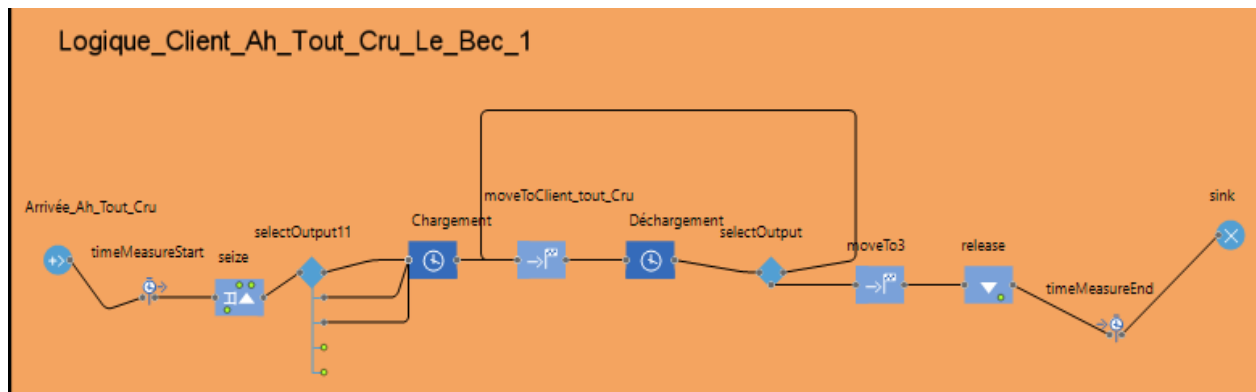


Figure 4.6 Logique Ah tout cru le bec (trois tournées)

Les tournées de véhicules sont regroupées en collections distinctes. Pour chaque collection, un horaire de livraison spécifique est défini. Lorsque celle-ci comprend plusieurs tournées, une variable globale est utilisée pour différencier les tournées au sein d'une même collection, facilitant ainsi la gestion des horaires et l'assignation des tournées en fonction des besoins de livraison. La Figure 4.7 présente la liste des collections de tournées ainsi que les horaires de livraison associés.























 schedule_Moisson_Laurentides	 col_Moisson_Laurentides
 schedule_Test_Jolies_Mi_Noix	 col_Ah_Tout_Cru_le_bec
 schedule_Mandys	 col_Mandys_Microgreens
 schedule_test_Ahtoutcru	 col_SOS_Fondue
 schedule_Test_SOS_Fondue	 Col_Jolies_Mi_Noix
 schedule_Moulin_Légaré	 col_Moulin_Légaré
 schedule_Safran_des_neiges	 col_Safran_des_neiges
 schedule_les_sans_gaspi	 col_Les_Sans_Gaspi
 schedule_ferme_la_roquette	 col_Ferme_La_Roquette
 schedule_Test_Ferme_La_rose_des_vents	 col_Ferme_La_Rose_des_vents
 schedule_Ferme_aux_petits_oignons	 col_Ferme_aux_petits_oignons

Figure 4.7 La liste des collections et des horaires de livraison

IV. Tableau de bord du modèle de simulation non mutualisée

Les KPIs relatifs au réseau de transport actuel dans la région des Laurentides sont présentés dans un tableau de bord, permettant de visualiser en temps réel, pendant l'exécution de la simulation, les paramètres clés tels que le taux d'utilisation des camions et la durée totale des tournées. Ces informations sont cruciales pour évaluer la performance du réseau de transport et prendre des décisions éclairées concernant la mise en commun des activités de livraison. Il était fondamental de déterminer si la mutualisation des tournées de livraison permettrait une meilleure utilisation des ressources disponibles, notamment en optimisant la capacité des camions, en réduisant les trajets à vide et en diminuant les émissions de CO₂. La question clé qui se pose à ce stade est la suivante : *La mutualisation peut-elle être une solution écoresponsable pour le réseau de transport de cette région ?* En d'autres termes, la mutualisation des livraisons entre différents membres permettrait-elle de réduire l'empreinte écologique du transport tout en améliorant l'efficacité logistique ? Ensuite, il s'agit d'identifier

quels membres devraient regrouper leurs livraisons pour maximiser ces bénéfices. La **Figure 4.8** présente les KPIs du modèle non mutualisé :

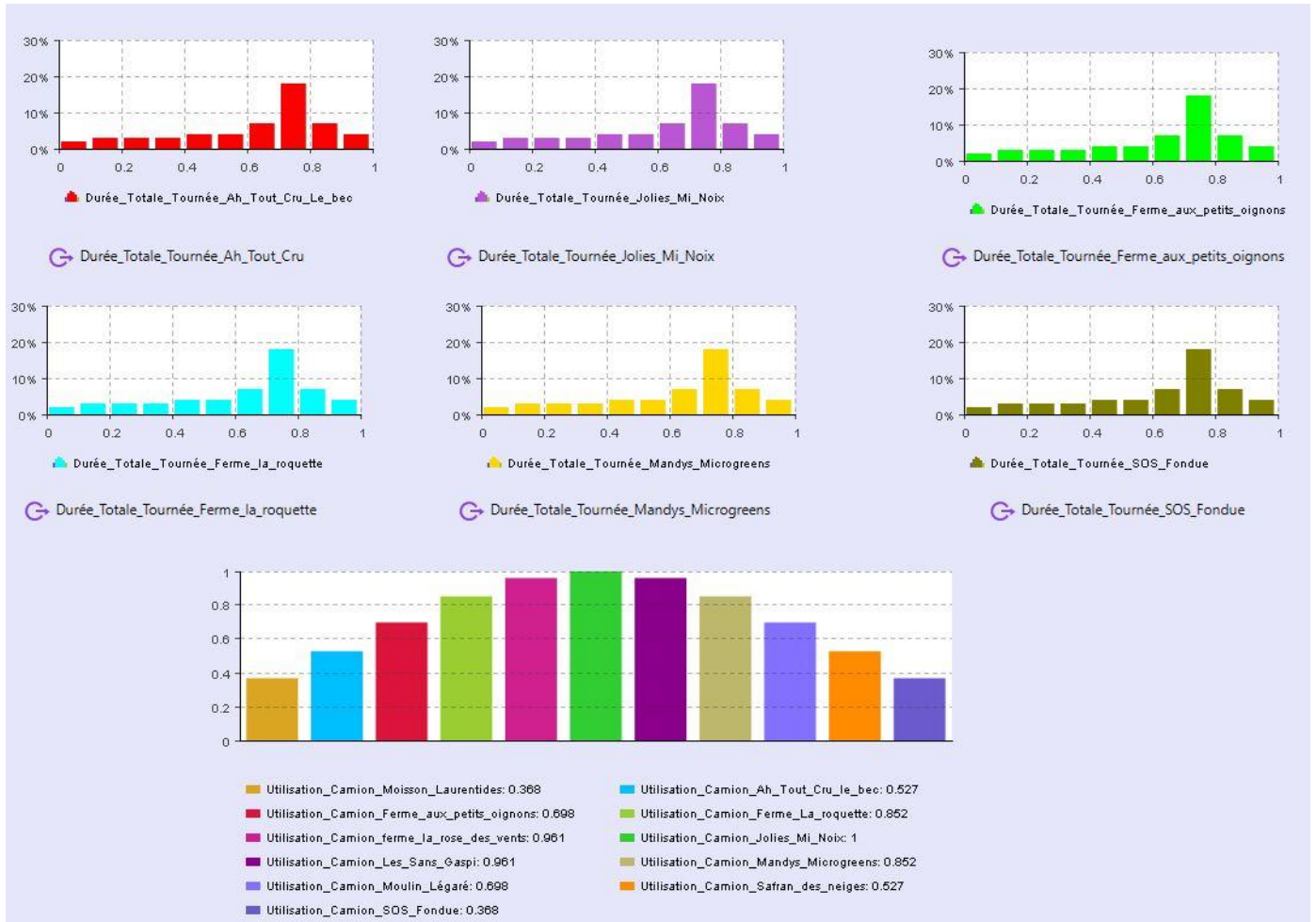


Figure 4.8 Les KPIs du modèle non mutualisé

Cette image représente un tableau de bord détaillé qui synthétise les performances opérationnelles des camions. La visualisation principale, située en haut et présentée sous forme d'histogrammes, affiche les taux d'utilisation des camions pour plusieurs clients et destinations, tels que Ah Tout Cru, et Mandy's Microgreens. En complément, des histogrammes plus détaillés sont disposés en dessous, mettant en évidence des indicateurs spécifiques tels que :

- La durée des tournées : représentée par des distributions illustrant les variations des durées en fonction des différentes destinations et clients.
- L'utilisation des camions : évaluée pour chaque segment, permettant d'identifier les taux d'utilisation optimaux ainsi que les véhicules sous-utilisés.
- Les passages aux différents points logistiques : décrivant la fréquence des visites aux points de livraison spécifiques.

V. Expérimentation et analyse des résultats

Afin de produire des résultats qui sont fiables, il est impératif d'élaborer un plan d'expérience. Celui-ci consiste à exécuter le modèle de simulation un nombre suffisant de fois afin que chaque indicateur mesuré tende vers une moyenne stable, dont la variation s'inscrit dans un intervalle de confiance de 95 % aussi restreint que possible. Dans le cadre de notre projet, nous avons réalisé 300 répliques du plan d'expérience. Chaque réplique permet de lisser les variations aléatoires inhérentes au modèle et de converger vers des résultats stables et précis.

La Figure 4.9 illustre en détail le plan d'expérience mis en œuvre pour le modèle non mutualisé. Ce modèle, spécifique à notre étude, a été testé à travers ces 300 simulations afin d'évaluer son comportement dans divers scénarios, offrant ainsi une vue d'ensemble des performances attendues en fonction des différentes configurations.



Figure 4.9 Le plan d'expérience du modèle non mutualisé

Étant donné la complexité et le nombre élevé de paramètres impliqués, la figure suivante présente le taux d'utilisation du camion appartenant au membre Ferme aux Petits Oignons, ainsi que la durée totale de sa tournée. Cette représentation visuelle permet de mieux comprendre l'efficacité et la gestion du temps du camion pour cette entité spécifique. La **Figure 4.10** montre les résultats du plan d'expérience en termes d'utilisation du camion et de durée totale de la tournée.

• Total Utilisation_Camion_Ferme_aux_Petits_Oignons
300 samples [0.015...0.021] Mean=0.018

• Durée_Totale_tournée_Ferme_Aux_Petits_Oignons
300 samples [201.953...270.601] Mean=240.099

○ y Utilisation_Camion_ferme_Aux_Petits_Oignons
1.371E-4

○ y Durée_Totale_tournée_Ferme_Aux_Petits_Oignons
1.632

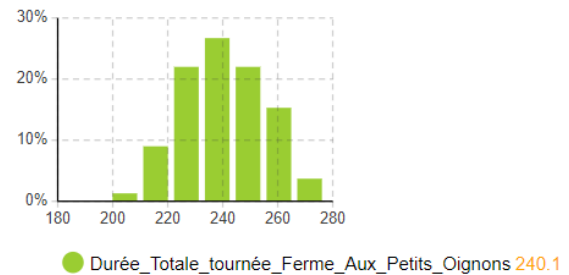
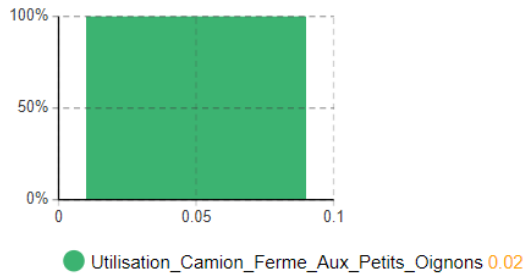


Figure 4.10 Le résultat du plan d'expérience du membre Ferme aux petits oignons

Pour ces KPIs, les résultats s'interprètent comme suit :

- La durée totale de la tournée varie dans un intervalle dont la moyenne est de 240,099 minutes, avec une valeur minimale de 201,953 et une valeur maximale de 240,601 minutes. L'intervalle de confiance à 95% est de 1,632 minutes.
- Le taux d'utilisation du camion varie dans un intervalle dont la moyenne est de 0,018, la valeur minimale est de 0,015. L'intervalle de confiance à 95% est de 1.371 E-4.

Un tableau récapitulatif de l'ensemble de ces KPI ainsi que leur interprétation sera présenté dans le chapitre 5.

4.2.2.2 Cas mutualisé : Définition du système actuel à modéliser et approche de simulation retenue

I. Présentation du modèle de simulation mutualisé

Pour construire le modèle de simulation mutualisé, nous avons adopté les mêmes hypothèses et composantes que celles utilisées pour la modélisation du modèle non mutualisé. Toutefois, pour chaque scénario de mutualisation, un modèle mathématique distinct a été élaboré. Ces modèles ont été spécifiquement conçus pour évaluer les

tournées optimisées et mutualisées identifiées. Chaque scénario prend en compte différentes configurations de tournées partagées entre plusieurs clients ou points de livraison, permettant ainsi d'évaluer la performance des tournées en termes de temps, de coûts, et de ressources utilisées. Cette approche nous a permis de mesurer l'impact de la mutualisation sur la performance des livraisons en comparant les résultats obtenus avec ceux du modèle non mutualisé. Cette analyse détaillée contribue à une meilleure compréhension des bénéfices potentiels de la mutualisation dans un contexte logistique réaliste.

La Figure 4.11 illustre la logique mise en œuvre pour le scénario de mutualisation 1, qui comprend trois tournées de véhicules (3 camions). Chaque tournée est modélisée séparément en suivant une logique distincte, ce qui permet un contrôle plus précis des taux d'utilisation des camions et de la durée totale des trajets. De plus, cette séparation facilite l'analyse et l'ajustement des tournées en fonction des résultats obtenus. Pour consulter la logique des autres scénarios mutualisés, voir **Annexe F**.

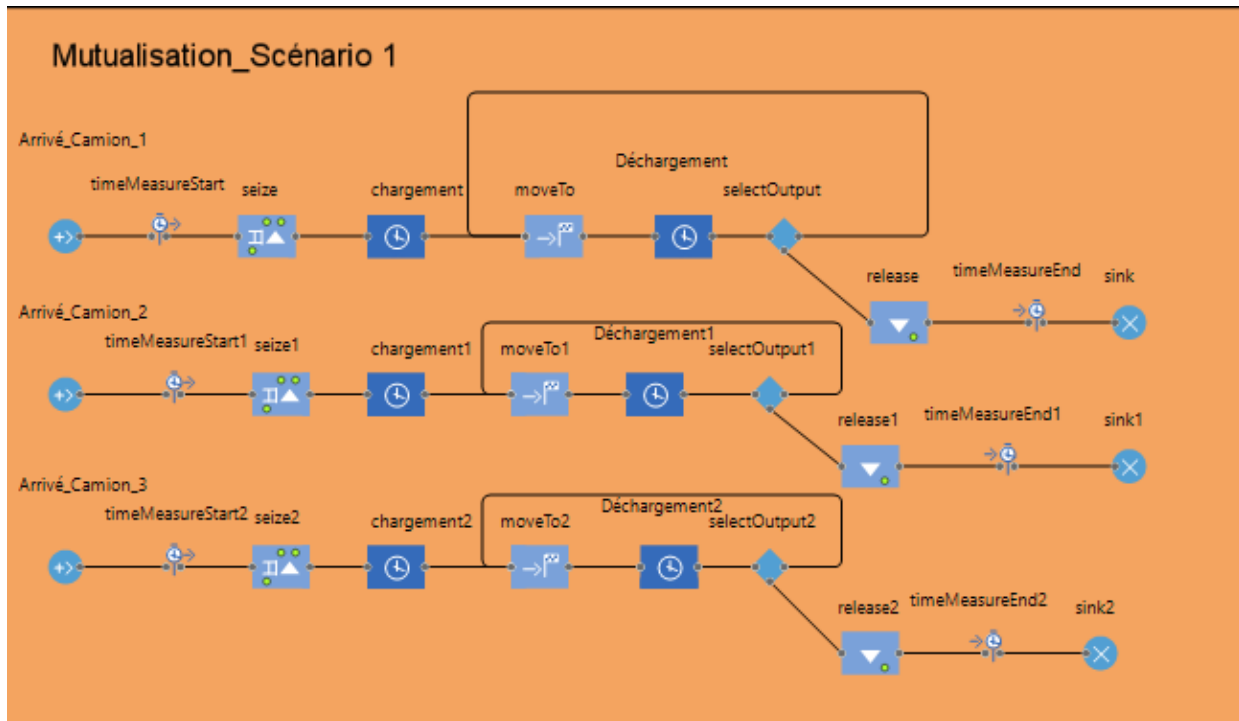


Figure 4.11 La logique de simulation du scénario 1 mutualisé

Dans le cadre du scénario 1, nous avons mis en place une stratégie spécifique pour gérer et organiser les trois tournées de véhicules de manière distincte. Pour cela, nous avons créé une collection dédiée à chaque tournée, permettant de regrouper et de suivre les détails de chaque tournée séparément. Comme présenté dans le **Tableau 4.4**, chaque tournée est associée à un horaire spécifique définissant ses heures de livraison.

La **Figure 4.12** montre un exemple des collections de tournées et des horaires de livraisons du scénario de mutualisation 4.



Figure 4.12 Les collections et les Schedule créés pour le scénario 4 mutualisé

II. Tableau de bord pour le modèle de simulation mutualisée

Les KPI associés au réseau de transport partagé sont présentés dans un tableau de bord. Celui-ci a été conçu pour offrir, lors de l'exécution du modèle, une visualisation claire de plusieurs paramètres critiques, notamment le taux d'utilisation des camions et la durée totale des tournées. La **Figure 4.13** présente un exemple des KPIs du modèle mutualisé 4:

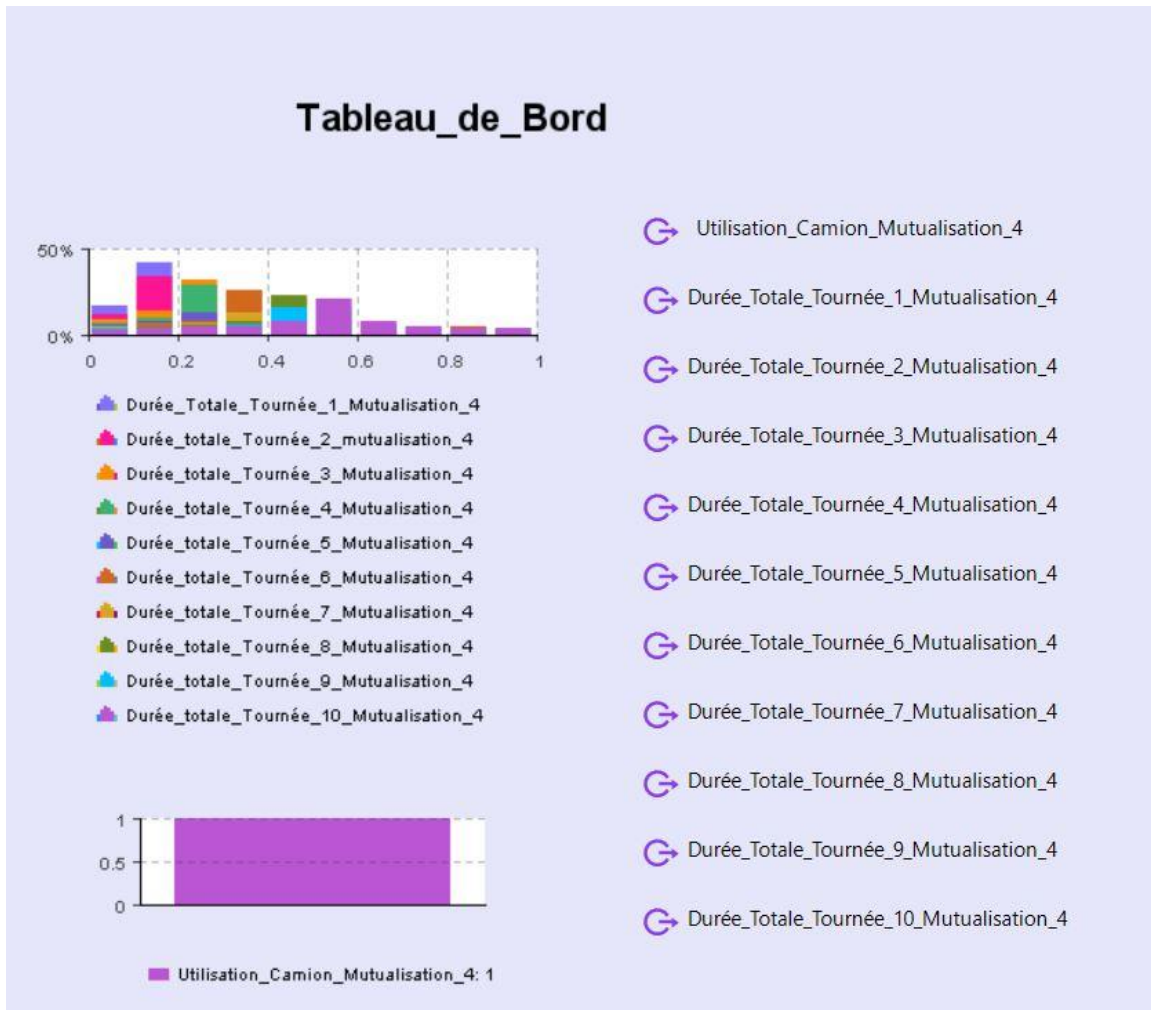


Figure 4.13 Les KPIs du modèle mutualisé 4

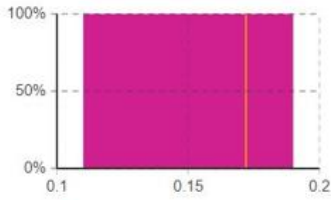
III. Expérimentation et analyse des résultats

Dans le cadre de notre projet, nous avons réalisé 300 répliques du plan d'expérience pour chacun des scénarios. **Les Figures 4.14 à 4.17** montrent en détail les plans d'expérience mis en œuvre pour les quatre scénarios mutualisés. Ces modèles ont été testés à travers 300 répliques afin d'assurer la robustesse et la fiabilité des résultats obtenus.

Scénario 1

Total_Utilisation_Camion_Mutualisation_1
300 samples [0.157...0.187] Mean=0.172

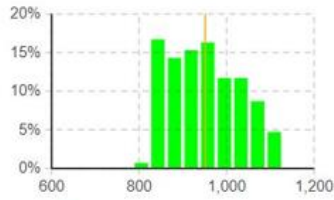
v_Utilisation_Camion_Mutualisation_1
7.172E-4



Utilisation_Camion_Mutualisation_1 0.17

Durée_Totale_Tournée_1_Mut_1
300 samples [815.647...1,119.055] Mean=951.059

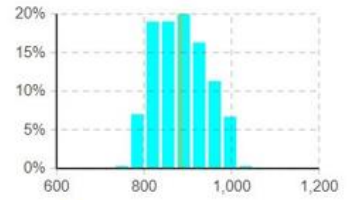
v_Durée_Totale_Tournée_1_Mut_1
9.021



Durée_Totale_Tournée_1_Mut_1 951.06

Durée_Totale_Tournée_2_Mut_1
300 samples [785.474...1,017.613] Mean=883.653

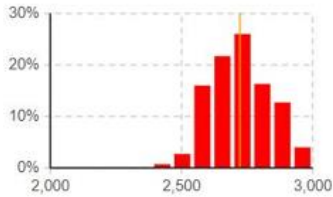
v_Durée_Totale_Tournée_2_Mut_1
6.765



Durée_Totale_Tournée_2_Mut_1 883.65

Passage_Totale_Scénario_1
300 samples [2,450.39...2,998.733] Mean=2,722.177

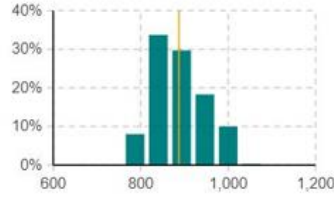
v_Passage_Totale_Scénario_1
12.561



Passage_Totale_Scénario_1 2,722.18

Durée_Totale_Tournée_3_Mut_1
300 samples [771.822...1,032.095] Mean=887.464

v_Durée_Totale_Tournée_3_Mut_1
6.45



Durée_Totale_Tournée_3_Mut_1 887.46

Figure 4.14 Tableau de bord produit par le plan d'expérience du scénario 1 mutualisé

Scénario 2

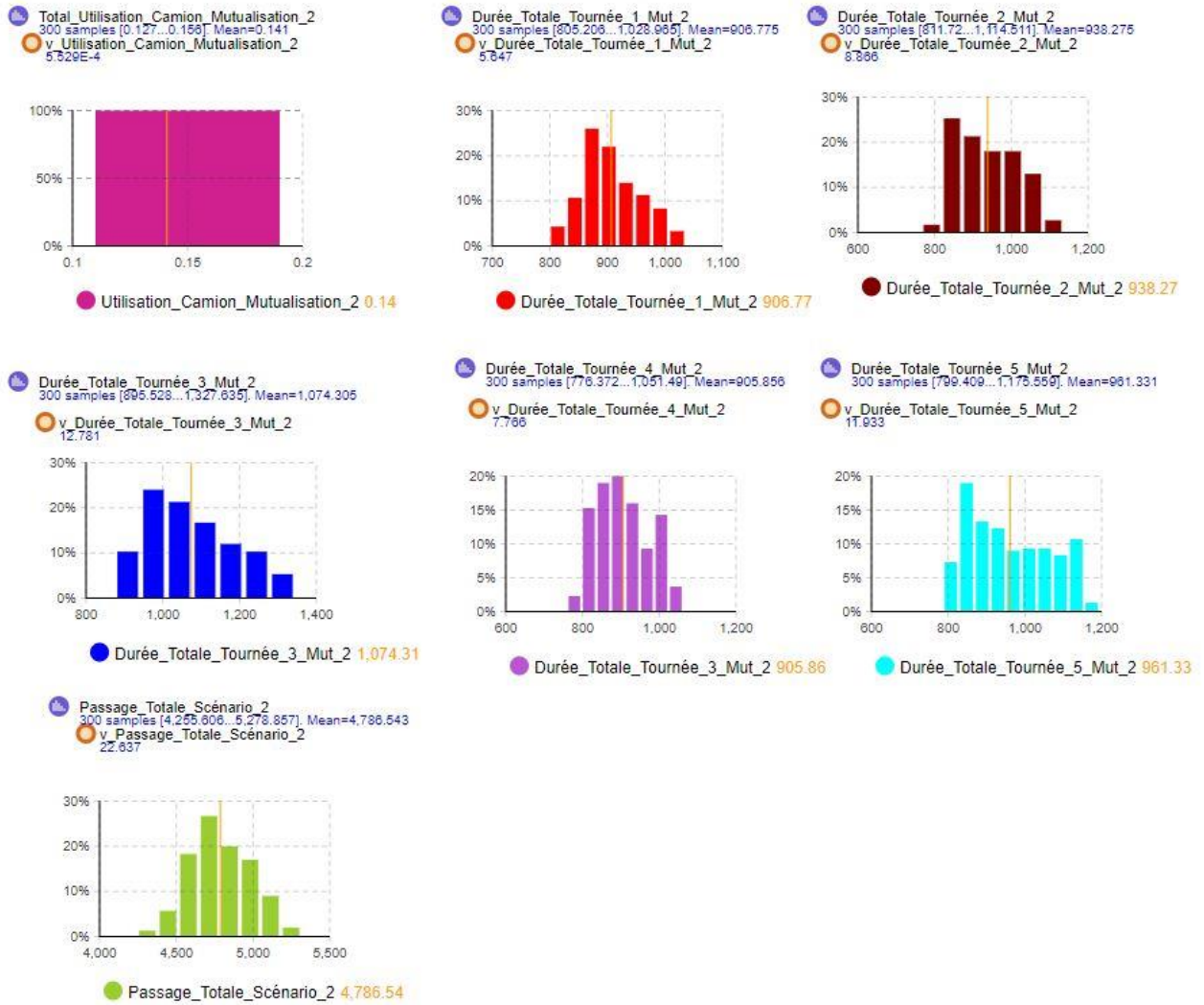


Figure 4.15 Tableau de bord produit par le plan d'expérience du scénario 2 mutualisé

Scénario 3



Figure 4.16 Tableau de bord produit par le plan d'expérience du scénario 3 mutualisé

Scénario 4



Figure 4.17 Tableau de bord produit par le plan d'expérience du scénario 4 mutualisé

Dans le chapitre 5, nous présenterons en détail les résultats obtenus à partir de l'analyse du modèle non mutualisé, également connu sous le nom de modèle « As-Is », ainsi que ceux des modèles mutualisés, appelés modèles « To-Be ». Ces analyses porteront sur les quatre scénarios spécifiques testés dans cette étude. Pour chaque scénario mutualisé, nous comparerons les performances du réseau dans son état actuel, sans mutualisation, avec celles des modèles optimisés grâce à la mutualisation. En examinant de près les résultats de chaque scénario, nous fournirons une analyse comparative de divers KPIs, notamment les taux d'utilisation des véhicules, les durées des tournées, les coûts opérationnels, ainsi que l'impact sur l'environnement.

CHAPITRE 5

Discussion et recommandation

Dans ce chapitre, nous analyserons en détail les résultats obtenus à partir des deux modèles de simulation développés au cours de ce projet. Tout d'abord, nous examinerons le modèle « As-Is », qui représente le scénario non mutualisé et reflète la situation actuelle du réseau de transport du CBL. Ensuite, nous présenterons les résultats du modèle « To-Be », qui englobe les quatre scénarios de mutualisation détaillés dans le chapitre précédent. L'objectif est de comparer la performance du réseau dans son état actuel, sans mutualisation, avec celle simulée dans les différents scénarios de mutualisation. En comparant les indicateurs de performance des modèles non mutualisés et mutualisés, nous pourrions mesurer l'impact de la mutualisation sur l'efficacité du réseau de transport. Cette comparaison portera notamment sur des aspects tels que l'utilisation des camions et la durée des tournées, qui seront utilisées pour estimer les émissions de CO₂. Nous détaillerons également les résultats des plans expérimentaux, en mettant en évidence les tendances observées et les avantages potentiels de chaque scénario mutualisé par rapport à l'approche non mutualisée.

La **Figure 1.5** illustre le processus d'analyse et de comparaison entre le modèle actuel de transport non mutualisé (« As-Is ») et plusieurs scénarios mutualisés (« To-Be »), dans le but d'identifier la solution la plus efficace pour optimiser le réseau de transport du CBL. Dans le modèle As-Is (sans mutualisation), une optimisation initiale a été réalisée, générant 18 tournées. Ces tournées ont ensuite été testées dans un environnement de simulation à l'aide du logiciel AnyLogic. Cependant, les résultats ont révélé des inefficacités opérationnelles, démontrant que le modèle non mutualisé n'était pas optimal en termes de performance logistique. Ces observations ont conduit à la décision d'explorer une approche mutualisée pour optimiser les tournées. Le modèle To-Be repose sur la mutualisation des tournées. Une optimisation a permis de générer quatre scénarios différents, chacun correspondant à un nombre spécifique de tournées :

Scénario 1 (3 tournées, offrant une réduction maximale des tournées et une meilleure efficacité), Scénario 2 (5 tournées, avec des gains limités en termes de temps), Scénario 3 (7 tournées, mais avec des trajets longs et complexes) et Scénario 4 (10 tournées, également caractérisées par des trajets longs et complexes). Ces scénarios ont été testés dans l'environnement de simulation AnyLogic afin d'évaluer leur faisabilité et leur performance. Après analyse des résultats, le Scénario 1 a été retenu comme étant le plus efficace. Il propose une solution équilibrée avec un total de 12 tournées, dont 3 mutualisées et 9 non mutualisées. Ce choix permet d'atteindre une meilleure efficacité opérationnelle tout en maintenant une complexité logistique réduite.

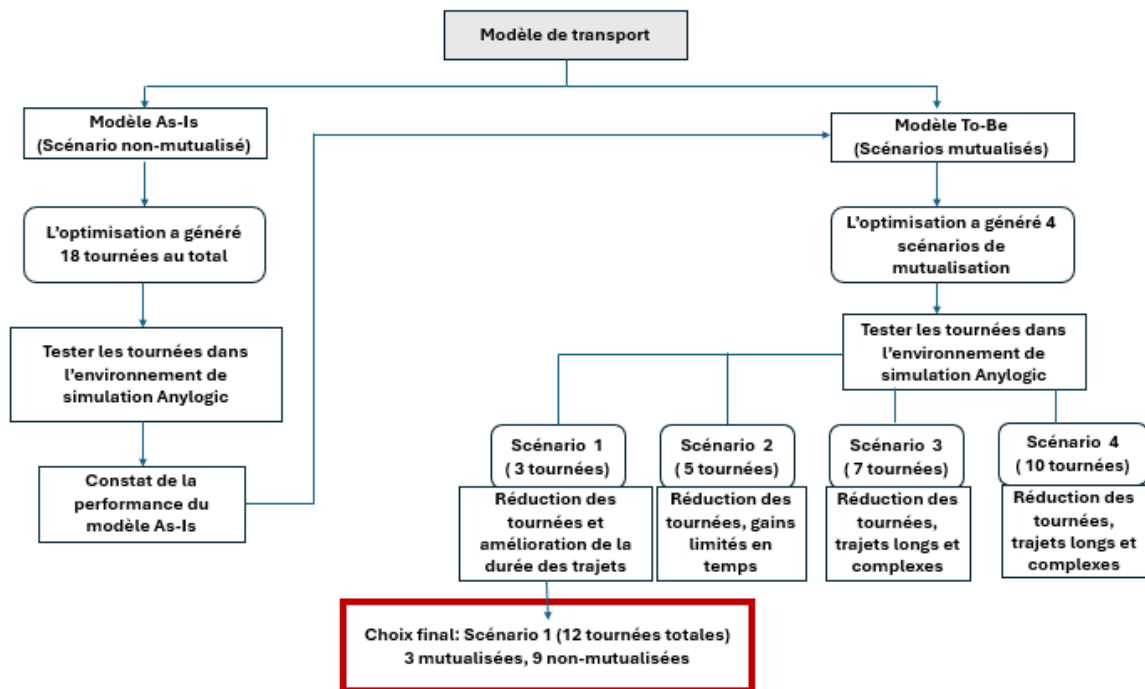


Figure 5.1 Le processus d'analyse et de comparaison entre le modèle (« As-Is ») et (« To-Be »)

5.1 Scénario non mutualisé - Modèle « As-Is »

Rappelons que chaque scénario a été exécuté 300 fois. Chaque exécution représente une instance possible des variables aléatoires utilisées dans le modèle.

Le Tableau 5.1 ci-dessous résume les données récoltées après l'exécution du plan d'expérience. Il présente notamment le nombre de tournées effectuées, le taux d'utilisation des camions ainsi que la durée totale des tournées.

Tableau 5.1 Les résultats du scénario non mutualisé

Membres	Nbre de tournée	Moyenne totale utilisation du camion	Intervalle de confiance (utilisation camion)	Durée totale de la tournée (Minutes)	Intervalle de confiance (durée totale tournée)
Ferme aux petits oignons	1 tournée	0.02	1.371E-04	240.099	1.632
Ferme la roquette	1 tournée	0.03	2.049E-04	347.38	2.244
Ferme la rose des vents	3 tournées	0.09	1.614E-04	3128.366	18.343
Jolies_mi_noix	2 tournées	0.06	6.116E-04	830.915	7.809
Les Sans Gaspi	1 tournée	0.04	2.94E-04	585.356	3.331
Mandys Microgreens	1 tournée	0.03	2.955E-04	337.043	3.79
Moisson Laurentides	1 tournée	0.07	7.466E-04	945.358	9.564
Moulin Légaré	1 tournée	0.02	1.727E-04	290.433	2.13
Safran des neiges	1 tournée	0.02	2.433E-04	313.15	3.068
SOS fondue Inc.	3 tournées	0.06	2.791E-04	768.184	2.182
Ah tout cru	3 tournées	0.06	3.496E-04	762.406	3.867

Ce tableau offre de nombreuses possibilités d'analyses :

- Les tournées de véhicules : La gestion des tournées de véhicules se concentre sur l'utilisation efficace des ressources (camions, temps de transport, nombre de tournées), ainsi que sur leur optimisation afin de minimiser les coûts de distribution. Les membres effectuant un plus grand nombre de tournées, comme la Ferme la rose des vents (3 tournées) et SOS fondue Inc. (3 tournées), ont probablement des volumes de livraison plus élevés. Cela peut rendre difficile le regroupement de leurs livraisons avec celles d'autres membres afin d'optimiser l'utilisation des ressources. En revanche, des membres comme la Ferme aux petits oignons (1 tournée) et Mandys Microgreens (1 tournée) sont plus faciles à

intégrer dans des tournées partagées, permettant ainsi de maximiser l'efficacité des camions.

- Durée de la tournée : Ferme la rose des vents affiche la durée la plus longue, ce qui indique un trajet plus long, probablement en raison de la distance géographique ou de la complexité de la livraison. Cela pourrait suggérer une amélioration possible des tournées, par exemple en regroupant certaines livraisons pour réduire le temps de transport. Les membres ayant des temps de transport plus courts, comme Moulin Légaré (290.433 minutes) et Safran des neiges (313.15 minutes), bénéficient probablement de courtes distances par rapport aux membres ou d'une meilleure localisation par rapport au centre de distribution, rendant leurs tournées plus efficaces. Pour Ferme la rose des vents (9%), Ah tout cru (6%).
- Utilisation du camion : Le taux d'utilisation des camions varie entre 2 % et 9 %. Un taux d'utilisation de 2 %, comme pour Ferme aux petits oignons ou Ferme la roquette, indique que ces tournées ne sont pas optimisées. Il serait pertinent de regrouper ces livraisons avec celles d'autres membres pour maximiser la capacité de chargement du camion. En revanche, un taux d'utilisation de 9 % pour Ferme la rose des vents (3 tournées) suggère qu'il est possible de réduire le nombre de camions utilisés, car les véhicules se déplacent potentiellement avec une charge partielle, ce qui n'optimise pas les ressources.

Le coût de transport par tournée de véhicules peut être calculé en fonction de la durée des tournées et de l'utilisation des camions. Par exemple, Ferme la rose des vents affiche une durée totale de 3128.366 minutes sur 3 tournées, entraînant des coûts élevés en carburant, entretien des véhicules et temps de conduite. D'autres membres, comme Moulin Légaré (1 tournée, 290.433 minutes), génèrent des coûts beaucoup plus faibles, ce qui pourrait refléter des économies d'échelle si leurs tournées étaient regroupées avec d'autres membres.

Les taux d'émission de CO₂ dépendent de la distance parcourue et du volume transporté. Les membres ayant des trajets plus longs, comme Ferme la rose des vents

(3128.366 minutes), génèrent davantage d'émission CO₂, car leurs camions restent plus longtemps sur la route. Les membres qui utilisent peu de camions, mais dont les tournées sont longues (comme Les Sans Gaspi et Moisson Laurentides), pourraient être regroupés avec d'autres membres afin de réduire les trajets à vide et limiter les émissions. Par exemple, si deux membres géographiquement proches partagent un camion, cela pourrait réduire considérablement l'empreinte carbone.

Le Tableau 5.2 présente les écarts entre les résultats des durées totales obtenus par simulation et ceux issus de l'optimisation. Il compare les durées totales des tournées pour différents membres d'un réseau logistique, en fonction de deux outils : l'optimiseur Gurobi et la simulation AnyLogic. Il met en évidence les écarts entre les estimations optimisées de Gurobi et les résultats simulés d'AnyLogic, qui prennent en compte la dynamique et les incertitudes du système. Pour chaque membre, le tableau indique le nombre de tournées effectuées, les durées totales calculées par Gurobi et AnyLogic, ainsi que l'intervalle de confiance associé aux résultats obtenus par la simulation. Par exemple, pour Moisson Laurentides, une tournée dure 465 minutes selon Gurobi, mais 945.358 minutes selon AnyLogic, avec un intervalle de confiance de 9.564 minutes. De même, pour Ah tout cru, trois tournées totalisent 1470 minutes avec Gurobi contre 762.406 minutes avec AnyLogic, avec un intervalle de confiance de 3.867 minutes.

Tableau 5.2 Comparaison des durées totales des tournées obtenues par l'optimiseur Gurobi versus la simulation AnyLogic

Membres	Tournées	Durée totale de chaque tournée (en minutes) selon l'optimiseur Gurobi	Durée totale de chaque tournée (en minutes) selon la simulation AnyLogic	Intervalle de confiance (Durée totale)
Moisson Laurentides	1 tournée	465	945.358	9.564
Ah tout cru	3 tournées	1470	762.406	3.867
Moulin Légaré	1 tournée	150	290.433	2.13
Mandys	1 tournée	180	337.043	3.79
Ferme aux petits oignons	1 tournée	90	240.099	1.632
Les Sans Gaspi	1 tournée	315	585.356	3.331
SOS fondue Inc.	3 tournées	1650	768.184	2.182
Safran des neiges	1 tournée	120	313.15	3.068
Ferme la rose des vents	3 tournées	1605	3128.366	18.343
Jolies mi- noix	2 tournées	1050	830.915	7.809
Ferme la roquette	1 tournée	165	347.38	2.244

L'optimisation génère des solutions théoriques idéales basées sur des hypothèses simplifiées, tandis que la simulation cherche à reproduire les réalités complexes et imprévisibles d'une tournée de livraison dans un contexte logistique réel. Contrairement à l'optimisation, la simulation prend en compte des facteurs dynamiques tels que le trafic, les conditions météorologiques et les temps d'arrêt imprévus. C'est pourquoi les durées simulées sont généralement plus longues que les durées optimisées, qui ne tiennent pas compte de ces aléas.

5.2 Les scénarios mutualisés- Modèle « To-be »

Dans cette partie, nous présenterons les résultats obtenus par le plan d'expérience, pour chaque scénario mutualisé cité dans le chapitre précédent.

5.2.1 Scénario 1 : Mutualisation de 8 membres- Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré, Jolies mi noix.

- Résultats obtenus par le plan d'expérience

Le **Tableau 5.3** présente les résultats de la mutualisation des 8 membres du CBL, avec des KPIs liés à l'utilisation des camions et à la durée totale de la tournée. Le taux d'utilisation global du camion pour ce scénario est de 17,20 %. Cela signifie que le camion est utilisé à 17,20 % sur l'ensemble de la période de simulation, qui couvre une semaine complète. Ce taux relativement faible pourrait indiquer une sous-utilisation des ressources ou un potentiel d'optimisation supplémentaire. Les variations des durées des tournées peuvent être influencées par plusieurs facteurs, notamment la distance totale parcourue ou les conditions de circulation.

Tableau 5.3 Résultat de la mutualisation du scénario 1

Scénario	Nombre de tournée	Taux d'utilisation du camion	Intervalle de confiance (Taux d'utilisation du camion)	Durée totale des tournées	Intervalle de confiance (Durée totale des tournées)
Scénario 1	Tournée 1	0.17	7.172 E-4	951.059	9.021
	Tournée 2			883.653	6.765
	Tournée 3			887.464	6.450

- Comparaison des résultats entre la mutualisation et la non-mutualisation

Le **Tableau 5.4** montre une comparaison entre un scénario non mutualisé et un scénario mutualisé en termes de nombre tournées et de durée totale des tournées (en minutes).

Tableau 5.4 Comparaison des résultats- mutualisation versus non-mutualisation (Scénario 1)

Scénario 1	Nombre de tournées	Durée totale des tournées (En minutes)
Scénario non mutualisé	7 tournées	2928.22
Scénario mutualisé	3 tournées	2722.176

La mutualisation permet de réduire le nombre de tournées nécessaires en optimisant l'utilisation de la ressource camion. Cette diminution indique une meilleure planification et un regroupement efficace des livraisons, ce qui limite le nombre total de trajets. Même avec un nombre réduit de tournées (3 tournées dans le scénario mutualisé contre 7 dans le scénario non mutualisé), la durée totale des tournées ne diminue que légèrement. Cela montre que chaque tournée dans le scénario mutualisé couvre une plus grande zone, mais de manière plus efficace. La mutualisation permet de rationaliser les tournées sans allonger significativement la durée totale des opérations, tout en réduisant le nombre d'allers-retours.

5.2.2 Scénario 2 : Mutualisation de 8 membres- Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré, Jolies mi- noix

- Résultats obtenus par le plan d'expérience

Le Tableau 5.5 présente les résultats du Scénario 2, qui comprend cinq tournées. Les principaux KPIs analysés sont le taux d'utilisation du camion et la durée totale des tournées (en minutes). Le taux d'utilisation du camion dans ce scénario est de 14,00%, ce qui reste relativement bas. Cela indique que les camions sont utilisés à un faible pourcentage sur l'ensemble de la période de simulation, suggérant une sous-utilisation des ressources de transport. La durée des tournées varie entre 905.856 et 1074.305 minutes. La Tournée 3 se distingue par une durée plus longue (1074.305 minutes), ce qui pourrait indiquer un trajet plus complexe, un nombre plus élevé de livraisons ou des contraintes spécifiques ayant allongé la tournée. L'ensemble des résultats montre qu'il serait bénéfique de revoir l'optimisation du réseau pour améliorer l'utilisation des camions et réduire le

nombre de tournées ou la durée totale. Ces ajustements pourraient également réduire les coûts et l'impact environnemental du transport dans ce scénario.

Tableau 5.5 Résultat de la mutualisation du scénario 2

Scénario	Nombre de tournées	Taux d'utilisation du camion	Intervalle de confiance (Taux d'utilisation du camion)	Durée totale des tournées	Intervalle de confiance (Durée totale des tournées)
Scénario 2	Tournée 1	14.00%	5.529 E-4	906.77	5.647
	Tournée 2			938.275	8.866
	Tournée 3			1074.305	12.781
	Tournée 4			905.856	7.766
	Tournée 5			961.331	11.933

- Comparaison des résultats entre la mutualisation et la non-mutualisation

Le **Tableau 5.6** compare les résultats du scénario non mutualisé avec ceux du scénario mutualisé, en analysant le nombre de tournées et la durée totale des tournées (en minutes).

Le scénario mutualisé permet de réduire le nombre de tournées, ce qui favorise une meilleure consolidation des livraisons et simplifie potentiellement la gestion des flux logistiques. Cependant, l'augmentation de la durée totale des tournées pourrait indiquer une plus grande complexité opérationnelle (ex. : plus d'arrêts sur la route ou des distances plus longues). Bien que la mutualisation puisse réduire les coûts liés à la mobilisation des ressources, l'augmentation de la durée des tournées pourrait engendrer des coûts supplémentaires. Le fait de réduire le nombre de tournées à 5 devrait avoir un impact positif sur les émissions de CO₂, car moins de camions seront mobilisés. Cependant, l'augmentation de la durée des tournées pourrait atténuer cet effet, car des trajets plus longs ou plus complexes impliquent une consommation accrue de carburant par tournée.

Tableau 5.6 Comparaison des résultats- mutualisation versus non-mutualisation (Scénario 2)

Scénario 2	Nombre de tournées	Durée totale des tournées (en minutes)
Scénario non mutualisé	9 tournées	3733.72
Scénario mutualisé	5 tournées	4786.537

5.2.3 Scénario 3 : Mutualisation de 9 membres- Ah tout cru le bec, Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré, Jolies mi- noix

- Résultats obtenus par le plan d'expérience

Le **Tableau 5.7** montre les résultats du scénario 3, qui comprend 7 tournées. Le taux d'utilisation du camion est de 13,0%, ce qui est relativement faible. Cela signifie que les camions ne sont utilisés qu'à 13% sur la période totale de la simulation (soit une semaine), indiquant ainsi une sous-utilisation des ressources. Un taux aussi bas suggère un nombre de camions supérieur aux besoins réels. La variabilité des durées de tournées complique l'optimisation du réseau. Certaines tournées sont significativement plus longues, ce qui peut entraîner des heures supplémentaires pour les conducteurs et une consommation accrue de carburant. Une meilleure consolidation des tournées permettrait de réduire le nombre de trajets, optimisant ainsi l'utilisation des véhicules. Certaines tournées, comme la Tournée 2 et la Tournée 4, sont particulièrement longues, ce qui peut être dû à des zones de livraison plus éloignées ou des trajets comportant plusieurs arrêts complexes.

Tableau 5.7 Les résultats de la mutualisation du scénario 3

Scénario	Nombre de tournées	Taux d'utilisation du camion	Intervalle de confiance (Taux d'utilisation du camion)	Durée totale des tournées (en minutes)	Intervalle de confiance (Durée totale des tournées)
Scénario 3	Tournée 1	0.13	4.449 E-4	705.101	6.613
	Tournée 2			1186.95	10.265
	Tournée 3			685.965	6.247
	Tournée 4			1058.58	12.873
	Tournée 5			799.87	8.713
	Tournée 6			873.59	5.754
	Tournée 7			920.41	7.905

- Comparaison des résultats entre la mutualisation et la non-mutualisation

Le **Tableau 5.8** compare les résultats du Scénario 3 mutualisé à ceux du scénario non mutualisé, en termes de nombre de tournées et de durée totale des tournées (en minutes). Bien que le nombre de tournées diminue dans le scénario mutualisé, la durée totale des tournées augmente significativement, passant de 4469,27 minutes à 6230,466 minutes. Cette augmentation suggère que chaque tournée dans le scénario mutualisé couvre des distances plus longues ou comporte davantage de livraisons, ce qui augmente la durée de chaque trajet. Bien que cela puisse optimiser l'utilisation des camions et réduire le nombre de déplacements nécessaires, cela peut également entraîner des coûts supplémentaires liés à la consommation de carburant, aux heures supplémentaires des conducteurs, et à l'utilisation des véhicules. Cependant, puisque l'objectif est de minimiser les coûts de transport et d'assurer des tournées plus courtes, le scénario non mutualisé pourrait s'avérer plus avantageux dans ce cas précis.

Tableau 5.8 Comparaison des résultats- mutualisation versus non-mutualisation (Scénario 3)

Scénario 3	Nombre de tournées	Durée totale des tournées (en minutes)
Scénario non mutualisé	12 tournées	4469.27
Scénario mutualisé	7 tournées	6230.466

5.2.4 Scénario 4 : Mutualisation de 10 membres- Ferme la rose des vents, Ah tout cru le bec, Moisson Laurentides, Ferme la roquette, Ferme aux petits oignons, Mandys Microgreens, Les Sans Gaspi, Safran des neiges, Moulin Légaré, Jolies mi- noix

- Résultats obtenus par le plan d'expérience

Dans cette sous-section, nous présentons une analyse détaillée des résultats du Scénario 4. Ce scénario comprend 10 tournées (Voir **Tableau 5.9**).

Le taux d'utilisation des camions obtenu est de 17%. Un taux aussi faible montre que les camions ne sont pas bien répartis sur la semaine. Il serait donc pertinent d'améliorer ce scénario en consolidant davantage les livraisons, en ajustant le nombre de camions utilisés, ou en optimisant le nombre des tournées. Les durées totales des tournées varient considérablement, allant de 387.979 à 7811.919, ce qui indique des différences dans la longueur ou la complexité des tournées. Tournée 4 a la plus longue durée totale de 7811.919, avec un intervalle de confiance de 115.333, indiquant une stabilité relative de cette durée. En comparaison, Tournée 2 est la plus courte avec 387.979 (intervalle de confiance de 2.858). Les intervalles de confiance des différentes tournées varient entre 2.858 et 115.333. Ces valeurs mesurent la précision de l'estimation des durées. Les tournées avec des intervalles plus petits ont des estimations plus fiables. Par exemple, Tournée 2 a une durée plus courte et un intervalle de confiance plus étroit (2.858), ce qui suggère que sa durée est relativement constante d'un jour à l'autre. Tournée 7 a un intervalle de confiance plus large (12.135), ce qui peut indiquer une plus grande variabilité dans la durée.

Tableau 5.9 Les résultats de la mutualisation du scénario 4

Scénario	Nombre de tournées	Taux d'utilisation du camion	Intervalle de confiance (Taux d'utilisation du camion)	Durée totale des tournées	Intervalle de confiance (Durée totale des tournées)
Scénario 4	Tournée 1	0.17	8.582 E-4	739.568	7.092
	Tournée 2			387.979	2.858
	Tournée 3			823.392	8.97
	Tournée 4			7811.919	115.333
	Tournée 5			1131.58	12.151
	Tournée 6			985.001	7.647
	Tournée 7			1007.964	12.135
	Tournée 8			843.04	5.873
	Tournée 9			981.016	7.738
	Tournée 10			740.033	7.594

- Comparaison des résultats entre la mutualisation et la non-mutualisation

Le Tableau 5.10 compare les résultats du Scénario 4 à ceux du scénario non mutualisé. Bien que le nombre de tournées soit réduit dans le scénario mutualisé, la durée totale des tournées est presque doublée, passant de 7798,42 minutes à 15,451,492 minutes. Cela signifie que les tournées dans le scénario mutualisé sont beaucoup plus longues que dans le scénario non mutualisé. Cette augmentation de la durée des tournées suggère que, bien que la mutualisation ait réduit le nombre de tournées, chaque tournée couvre une distance beaucoup plus grande ou comprend un nombre important de livraisons supplémentaires. Cela pourrait conduire à des tournées plus complexes et à des trajets plus longs. De plus, l'augmentation de la durée totale des trajets peut avoir un impact négatif sur l'environnement en raison de l'augmentation de la consommation de carburant.

Tableau 5.10 Comparaison des résultats- mutualisation versus non-mutualisation
(Scénario 4)

Scénario 4	Nombre de tournées	Durée totale des tournées (en minutes)
Scénario non mutualisé	15 tournées	7798.42
Scénario mutualisé	10 tournées	15451.492

5.3 Le choix du scénario de mutualisation

La mutualisation n'est pas toujours la meilleure solution pour planifier les opérations de transport. Il est nécessaire d'évaluer différentes approches et d'analyser leurs avantages et inconvénients, afin de déterminer s'il est pertinent de mutualiser ou non les opérations de transport.

À la suite d'une étude approfondie des quatre scénarios de mutualisation présentés dans la section précédente, nous avons choisi de retenir le **Scénario 1** pour la planification des opérations de transport du CBL. Ce choix repose sur plusieurs critères : optimisation des ressources logistiques, réduction du nombre de tournées, amélioration des performances des camions, diminution des coûts de transport et réduction de l'impact environnemental. Ces éléments nous ont semblé essentiels pour assurer une gestion fluide et durable du réseau de transport tout en répondant aux exigences opérationnelles du CBL.

En regroupant les livraisons en trois tournées mutualisées, le Scénario 1 permet de réduire à la fois les coûts fixes (immobilisation des camions, rémunération des chauffeurs) et les coûts variables (carburant, usure des camions, frais d'entretien). Avec moins de tournées, les camions passent moins de temps sur la route, ce qui diminue les dépenses en carburant et l'usure mécanique des véhicules, prolongeant ainsi leur durée de vie. De plus, la réduction du nombre de tournées et l'amélioration des performances des camions contribuent à réduire l'empreinte carbone du réseau de transport. Moins de tournées impliquent une réduction de l'utilisation des véhicules, une baisse du temps de

trajet, un kilométrage parcouru moindre et une consommation réduite de carburant, ce qui entraîne une diminution des émissions de gaz à effet de serre, notamment du dioxyde de carbone (CO₂).

Par ailleurs, le scénario 1 offre une plus grande flexibilité pour faire face aux variations imprévues de la demande ou aux situations d'urgence. Avec moins de tournées, les chauffeurs peuvent plus facilement s'adapter aux ajustements de dernière minute, car ils disposent d'une plus grande marge de manœuvre pour réorganiser leurs tournées ou intégrer des livraisons supplémentaires sans perturber l'ensemble du programme. En d'autres termes, la réduction du nombre de tournées simplifie la gestion des opérations, facilitant une réponse rapide et efficace aux urgences ou aux demandes imprévues, tout en garantissant la continuité des opérations.

Le **Tableau 5.11** présente la répartition des tournées de véhicules au cours de la semaine, combinant les tournées mutualisées du Scénario 1 (3 tournées optimisées) et les tournées non mutualisées qui ne sont pas incluses dans ce scénario (9 tournées non mutualisées). Initialement, l'optimiseur avait généré 18 tournées non mutualisées pour couvrir l'ensemble des livraisons du réseau. Cependant, après l'analyse et la mise en œuvre du Scénario 1, nous avons réussi à réduire ce nombre à 12 tournées en combinant certaines livraisons via un modèle mutualisé. Ainsi, le Scénario 1 a permis de consolider plusieurs trajets en seulement 3 tournées mutualisées, tout en conservant 9 tournées non mutualisées pour les livraisons qui ne pouvaient être intégrées à la mutualisation.

Cette réduction du nombre total de tournées, passant de 18 à 12, apporte des bénéfices majeurs en termes de réduction des coûts et d'amélioration de l'efficacité opérationnelle. En consolidant certaines livraisons dans un nombre réduit de tournées mutualisées, nous avons non seulement diminué le nombre de camions nécessaires sur la route tout en optimisant l'utilisation des ressources et en maintenant une flexibilité pour les tournées non mutualisées.

Tableau 5.11 La répartition des tournées de véhicules suivants les jours de la semaine

Horaire de livraison				
Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Ah tout Cru 2 (Non-mutualisée)	Tournée 1 (Mutualisée)	Tournée 2 (Mutualisée)	Tournée 3 (Mutualisée)	Ferme la rose des vents 2 (Non-mutualisée)
	SOS fondue Inc. 2 (Non-mutualisée)	Ah tout cru 1 (Non-mutualisée)	Ferme la rose des vents 1 (Non-mutualisée)	
	SOS fondue Inc. 3 (Non-mutualisée)	Ah tout cru 3 (Non-mutualisée)	Ferme la rose des vents 3 (Non-mutualisée)	
		SOS fondue Inc. 1 (Non-mutualisée)		

CONCLUSION

Au cours de ce projet, nous avons mis en évidence l'interaction étroite entre l'optimisation et la simulation dans la planification des réseaux de transport. Ces deux approches ont fonctionné en synergie, permettant de générer et d'évaluer des tournées de livraison de manière efficace et réaliste. La question de recherche formulée au début de ce projet était la suivante : la conception d'un réseau de transport mutualisé, efficient et écoresponsable constitue-t-elle une stratégie pertinente pour le secteur bioalimentaire des Laurentides ? Quels en sont les impacts économiques potentiels?

D'un côté, l'optimisation des tournées a permis d'obtenir des tournées optimisées pour les scénarios mutualisés et non mutualisés. Grâce à cet outil puissant, nous avons identifié les trajets les plus efficaces pour chaque configuration. Cependant, ces itinéraires générés par l'optimisateur ne prennent pas en compte les aléas et incertitudes du réseau de transport réel, tels que les embouteillages, les fermetures de routes inattendues ou les accidents. En effet, l'optimiseur fonctionne dans un cadre déterministe, où les variables et conditions sont supposées stables et prévisibles. Par conséquent, bien que ces tournées optimisées offrent une solution théoriquement efficace, elles doivent encore être testées dans un environnement réaliste, où des perturbations dynamiques peuvent influencer les résultats prédits.

Outre la génération des tournées de transport, l'optimisation a également permis d'affecter ces tournées aux jours de la semaine afin de créer une planification de livraison réaliste et cohérent. Ce plan a été conçu pour répondre aux besoins spécifiques de la livraison des denrées alimentaires aux clients de CBL, tout en respectant les contraintes logistiques telles que la disponibilité des camions et des chauffeurs. Les tournées et les horaires de transport ainsi générés sont considérés comme des données de sortie de l'optimisation, mais servent également d'entrée pour la phase de simulation. Cette dernière a joué un rôle clé en intégrant ces tournées dans un cadre dynamique et

incertain, où divers événements perturbateurs peuvent influencer la performance réelle du réseau de transport. Dans cet environnement simulé, les tournées optimisées ont été testées pour évaluer leur robustesse face aux imprévus, permettant ainsi une comparaison entre les performances des scénarios mutualisés et non mutualisés dans des conditions réalistes.

Il est essentiel de comprendre que la mutualisation n'est pas toujours la solution optimale. Son efficacité dépend du contexte étudié, des objectifs de l'entreprise, ainsi que des contraintes logistiques et géographiques. Une analyse approfondie est donc nécessaire pour déterminer dans quelle mesure la mutualisation apporte une réelle valeur ajoutée. De plus, savoir quand et comment mutualiser est aussi important que d'en comprendre les bénéfices. Une approche flexible est recommandée, dans laquelle les avantages et inconvénients de la mutualisation sont régulièrement réévalués en fonction de l'évolution des exigences logistiques.

Cependant, ce projet a rencontré certaines limites. L'accès aux données a constitué un défi majeur en raison de la fermeture du CBL et des difficultés à obtenir des informations complètes auprès des membres. Par conséquent, certaines hypothèses ont dû être formulées, impactant la précision et la validité des résultats. De plus, bien que les modèles aient fourni des perspectives intéressantes, ils restent basés sur des scénarios hypothétiques, nécessitant des validations supplémentaires en contexte réel.

Notre étude des scénarios de mutualisation a permis d'identifier leurs forces et faiblesses. Le scénario 1 s'est révélé être l'option la plus avantageuse en matière de performance logistique et d'efficacité économique. Ce choix repose sur plusieurs critères :

- Réduction du nombre de tournées : Grâce à la mutualisation, nous sommes passés de 18 tournées non mutualisées à seulement 12, dont 3 mutualisées. Cette consolidation a permis une gestion logistique plus fluide, limitant le risque d'erreurs et de retards.

- Meilleure utilisation des camions : En maximisant la capacité de chargement et en réduisant les trajets à vide, les opérations sont devenues plus performantes. Impact environnemental positif : La diminution du nombre de camions sur les routes et l'optimisation des tournées ont entraîné une réduction de la consommation de carburant et des émissions de CO₂.

Il est toutefois important de noter que le scénario 1 constitue un modèle de référence, mais reste perfectible. Le taux d'utilisation des camions demeure relativement bas, notamment parce que ceux-ci ne sont sollicités que quelques jours par semaine. Des améliorations restent possibles pour optimiser davantage leur usage.

À mesure que les technologies évoluent et que les besoins logistiques changent, il sera essentiel d'affiner continuellement ce réseau de transport. L'intégration de solutions avancées, telles que l'intelligence artificielle, l'analyse des données en temps réel et des solutions de transport écologique, pourrait encore améliorer l'efficacité opérationnelle et réduire l'empreinte environnementale.

Ce mémoire apporte une contribution significative à la gestion logistique du Carrefour Bioalimentaire, en proposant une solution optimisée pour améliorer l'efficacité des tournées de livraison. La réduction du nombre de trajets, la mutualisation des ressources et l'optimisation des tournées permettront non seulement de réduire les coûts opérationnels, mais aussi de limiter l'empreinte carbone de l'entreprise.

Par ailleurs, ce projet met en évidence l'importance d'une approche combinant optimisation et simulation pour prendre en compte les aléas du réseau de transport réel. Cette approche peut servir de modèle à d'autres entreprises du secteur souhaitant améliorer leurs performances logistiques tout en respectant les exigences environnementales actuelles.

ANNEXE A

Informations relatives au chapitre 1

Les données démographiques spécifiques à chaque MRC

MRC	Population totale	Population entre 18 et 64 ans	Population entre 65 ans et plus	Vieillessement (2021 à 2026)	Personnes vivant sous la mesure de faible revenu (MFR) après impôts (15-64 ans)	Personnes vivant sous la mesure de faible revenu (MFR) après impôts (65 et plus)
Antoine-Labelle	37100	20700	11300	19.60%	13.60%	26.80%
Les Laurentides	51300	29,400	14,400	23.10%	12.00%	20.60%
Les Pays-d'en-Haut	48300	27,600	14,500	23.00%	10.40%	15.20%
Argenteuil	35600	20,600	9,200	21.00%	13.20%	22.00%
La Rivière-du-Nord	145800	88100	28800	25.00%	8.70%	20.50%
Mirabel	64300	41100	8300	40.90%	5.10%	15.50%
Deux-Montagnes	107500	65300	19500	22.80%	5.80%	15.90%
Thérèse de Blainville	169200	104400	29800	27.00%	5.40%	13.10%

Répartition de l'emploi de l'industrie du camionnage et de la logistique et postes vacants, par profession (Moyenne annuelle, 2016-2018)

Emploi	Postes vacants
Chauffeurs de camions 303,367 / 46.2%	Chauffeurs de camions 14,124 / 62.9%
Autres 128,351 / 20%	Autres 2,702 / 12%
Mécaniciens 8,705 / 1.3%	Mécaniciens 229 / 1.0%
Répartiteurs 15,994 / 5.9%	Répartiteurs 309 / 1.4%
Manutentionnaires 38,746 / 5.9%	Manutentionnaires 1,493 / 6.6%
Chauffeurs/livreurs de services de messagerie 70,632 / 10.8%	Chauffeurs/livreurs de services de messagerie 1,761 / 7.8%
Expédition et réception 90.709 / 13.8%	Expédition et réception 1,840 / 8.2%

ANNEXE B

Les informations relatives à la revue de littérature

Comparaison entre les quatre structures hiérarchiques du problème

Aspect	ASO (Alternative Simulation-Optimization)	SSO (Simulation-Optimisation Séquentielle)	SOI (Simulation avec Itérations basées sur l'Optimisation)	OSI (Optimisation avec itérations basées sur la simulation)
Processus	Hybride (simulation et optimisation alternent dans des cycles définis)	Séquentiel (simulation précède l'optimisation)	Itératif (simulation et optimisation en boucle intégrée)	Itératif (optimisation produit des solutions testées par simulation)
Interaction	Simulation alimente l'optimisation et affine les résultats à chaque cycle	Simulation guide l'optimisation	Optimisation et simulation interagissent à chaque itération	Optimisation propose une solution, simulation valide ou ajuste
Nature du Modèle	Modèle flexible intégrant incertitudes et interactions complexes	Modèle basé sur une analyse initiale	Modèle évolutif et réactif	Modèle réaliste pour tester les solutions dans des conditions dynamiques
Utilisation	Approche combinée pour améliorer les processus complexes (prise de décision)	Analyse approfondie préalable (planification)	Ajustement progressif dans des environnements dynamiques	Évaluation des performances pour trouver une solution optimale
Exemple	Optimisation des niveaux de stocks dans une chaîne de distribution	Optimisation des tournées de transport	Gestion des stocks avec fluctuations de demande	Optimisation de la planification du personnel dans un centre d'appels

Comparaison des trois méthodologies de résolution du problème d'optimisation

Aspect	Méthodes Exactes	Méthodes Heuristiques	Méthodes Métaheuristiques
Définition	Algorithmes qui garantissent de trouver la solution optimale à un problème d'optimisation.	Méthodes approximatives basées sur des règles simples pour trouver rapidement une solution acceptable.	Méthodes algorithmiques générales qui combinent exploration et exploitation pour trouver des solutions de haute qualité.
Optimalité des solutions	Solution optimale garantie.	Solution sous-optimale, mais proche de l'optimum dans certains cas.	Solution approximative, non garantie optimale, mais souvent de haute qualité.
Temps de calcul	Temps de calcul élevé pour les problèmes complexes.	Temps de calcul généralement faible.	Temps de calcul variable, qui dépend des paramètres et du problème.
Complexité du problème traité	Convient aux problèmes bien structurés et de petite ou moyenne taille.	Convient aux problèmes complexes, mais souvent appliqués à des cas spécifiques.	Convient aux problèmes très complexes et de grande dimension.
Adaptabilité	Faible, nécessite une reformulation pour des problèmes différents.	Moyenne, nécessite une adaptation manuelle pour différents problèmes.	Élevée, adaptable à divers types de problèmes.
Exemples	Programmation linéaire, Algorithme de branchement et de bornes.	Ant colony optimization, genetic algorithm, particle swarm optimization, simulated annealing, greedy algorithm	Algorithme génétique, Optimisation par colonies de fourmis, Recuit simulé.

ANNEXE C

La collecte de données

Les rencontres virtuelles réalisées entre l'équipe de recherche de l'UQAM et le partenaire CBL et la décision de lancer le questionnaire

Ce projet a été officiellement lancé le **1er novembre 2022**. Nous avons reçu du matériel et des données de l'organisation partenaire, afin de nous familiariser avec l'historique de l'entreprise, sa mission, ses différents membres et le fonctionnement actuel de son réseau de transport. En parcourant les documents en notre possession, et accompagnés des nombreuses rencontres de discussion avec le CBL, nous avons identifié les enjeux auxquels sont confrontés les membres du CBL, que ce soit en termes de pénurie de main-d'œuvre, de mouvements de camions vides, de durée de vie des denrées alimentaires et du défi de les conserver dans un environnement adéquat, de taux d'émission de CO₂, d'inflexibilité des horaires de livraison, de prix de location des véhicules de transport, d'utilisation d'une flotte de transport adéquate, de respect de la capacité des camions, entre autres.

La première rencontre officielle virtuelle entre l'équipe de recherche de l'UQAM et l'organisme partenaire CBL a eu lieu le **15 novembre 2022**. À l'aide de supports visuels, notre équipe a discuté des aspects clés de la mise en œuvre du plan régional de transport, qui repose principalement sur l'utilisation combinée de deux outils d'aide à la décision : la simulation et l'optimisation. La simulation permet de modéliser le réseau de transport "tel quel". Ensuite, nous modéliserons le futur réseau de transport, en nous concentrant sur la mutualisation, qui est l'objectif principal de notre travail. Cette mutualisation sera proposée par le modèle d'optimisation que nous aurons bâti. Finalement, la simulation nous permettra de bâtir un nouveau modèle, celui qui correspond au réseau de transport "futur", et qui tient compte de la solution mutualisée proposée par l'optimisation. Ce modèle permettra également de rouler et de tester plusieurs scénarios possibles.

La discussion entre les participants a contribué à la définition des tâches spécifiques de chaque membre de l'équipe de recherche et à la détermination des objectifs des réunions futures, afin d'assurer la cohérence entre les composantes de simulation et d'optimisation. Comme il est mentionné dans le chapitre 1, les membres du CBL incluent des producteurs, des transformateurs, des restaurateurs, des détaillants, etc. qui assurent la livraison indépendante des denrées alimentaires. Il était donc important de préciser les catégories qui participeraient au regroupement : est-ce qu'elles seraient toutes incluses ? Combien de membres compte ce réseau ? De quelles données avons-nous besoin pour construire le modèle de simulation, tout en reflétant fidèlement l'infrastructure logistique actuelle ? Pour recueillir ces informations, nous avons choisi de recourir à une méthode de recherche quantitative en envoyant une enquête aux membres.

Les étapes de préparation du sondage

Le **29 novembre 2022**, nous nous sommes réunis avec l'agente de commercialisation et de développement bioalimentaire du CBL. Au cours de cette rencontre, nous avons échangé des idées et examiné les données nécessaires pour commencer notre travail. Certains paramètres étaient accessibles en consultant les documents de l'organisation. Le réseau de transport dans la région des Laurentides se compose de quatre acteurs principaux qui seront nommés agents puisque dans les modèles de simulation qui seront développés, ces derniers seront modélisés par des agents distincts :

- Agent 1 : la route mutualisée des organismes en sécurité alimentaire. Le CBL nous a fourni l'horaire de livraison préétabli de Moisson Laurentides, qui dessert 21 membres.
- Agent 2 : le Carrefour Bioalimentaire des Laurentides.
- Agent 3 : la demande de Moisson Laurentides et du Carrefour Bioalimentaire des Laurentides en denrées alimentaires.
- Agent 4 : la flotte de camions.

La deuxième réunion générale a été organisée le **5 décembre 2022** pour faire le point sur l'évolution du questionnaire. Nous avons privilégié le choix de l'outil Lime Survey, recommandé par l'UQAM qui offre une licence gratuite aux étudiants. Nous avons dressé un calendrier des diverses actions à mener pour lancer le questionnaire : préparation du document, révision avec l'équipe de recherche, transmission de la première version complète aux partenaires du CBL, expérimentation auprès d'un échantillon de personnes, puis envoi de la version finale aux membres du CBL. Chaque mois, le CBL envoie une infolettre à ses membres et à ses réseaux d'entreprises alimentaires. Afin d'informer les répondants sur l'enquête, un texte informatif sera intégré à l'infolettre, expliquant le projet en cours et les avantages d'un réseau de transport partagé, écoresponsable et efficace. Le lien vers l'enquête sera ensuite envoyé par courriel aux membres et aux non-membres du CBL. Cette décision vise à encourager les non-membres à s'impliquer dans le projet.

À la suite de cette réunion, nous avons rédigé le texte informatif et l'avons transmis aux partenaires du CBL le **12 décembre 2022** pour publication dans l'infolettre du **16 décembre 2022**.

Le choix de Lime Survey a été écarté après avoir consulté la coordinatrice du Pôle sur la ville résiliente, en raison de la visibilité du logo de l'UQAM tout au long de l'enquête. Nous avons également rencontré Patrick Coloumbe, statisticien à l'UQAM, qui nous a expliqué en détail le fonctionnement de Lime Survey. Compte tenu de notre besoin d'un outil d'enquête flexible et capable de répondre à plusieurs questions à la fois, nous avons finalement opté pour une licence de Survey Monkey.

Le **16 décembre 2022**, notre équipe de recherche a revu les questions et les réponses du questionnaire. En raison des vacances de fin d'année, nous avons organisé une réunion générale le **23 janvier 2023** pour valider le questionnaire avant de l'implémenter dans Survey Monkey. Nous avons parcouru chaque point du questionnaire et les membres de l'équipe ont ajouté leurs commentaires afin de simplifier et optimiser le contenu du questionnaire. Nous avons envoyé le document du sondage à l'organisation partenaire le **6 février**. Le **10 février 2023**, nous avons reçu le document avec les commentaires

apportés par le CBL. Le questionnaire a donc été intégré dans le logiciel Survey Monkey et le lien vers le sondage final a été transmis au CBL le 16 février. Le CBL a ensuite testé le questionnaire avec l'un de ses membres pour s'assurer qu'il fonctionnait adéquatement avant de le lancer auprès de ses membres et des non-membres. L'enquête a ensuite subi quelques modifications en fonction des retours de ces membres, et le lien final a été adressé au CBL le **24 février**.

Début mars, le CBL a envoyé un courriel à tous les participants, en incluant le lien du sondage. Nous avons attendu le mois de mars pour contrôler le taux de réponse. Nous avons recueilli durant ce mois un total de 4 réponses :

- Entreprise 1 : 2 mars 2023 (le questionnaire est incomplet).
- Entreprise 2 : 6 mars 2023 (le questionnaire est incomplet).
- Entreprise 3 : 6 mars 2023 (le questionnaire est incomplet).
- Entreprise 4: 31 mars 2023 (le questionnaire est complet).

Vers la fin de mars (**29 mars**), nous avons communiqué avec la responsable de l'organisation partenaire pour trouver une solution pour palier le faible taux de réponse. Nous avons alors décidé de relancer les entreprises par courriel pour les inciter à remplir le questionnaire, et de publier à nouveau le lien dans l'infolettre du mois d'avril.

En outre, nous avons évoqué la possibilité de joindre les participants de manière individuelle pour connaître leur intérêt à participer à l'enquête.

Nous avons surveillé durant quelques semaines le taux de réponse à ce questionnaire dans Survey Monkey. L'entreprise 5 a répondu au questionnaire le **28 avril 2023**, en couvrant la moitié des questions.

Une autre réunion a été tenue avec le CBL le **24 avril 2022**, car le taux de réponse est resté trop bas. Nous avons alors décidé de procéder autrement. Nous avons opté pour rencontrer les participants afin de les assister dans la complétion de l'enquête. Nous

avons considéré que les répondants éprouvaient des difficultés à remplir les questions ou trouvaient le questionnaire volumineux.

Au cours du mois de mai, nous avons attendu des nouvelles de l'organisation partenaire pour poursuivre la collecte de données. Voici les nouvelles réponses enregistrées dans Survey Monkey :

- Entreprise 6 : 2 mai 2023 (questionnaire incomplet).
- Entreprise 7 : 3 mai 2023 (questionnaire incomplet).
- Entreprise 8 : 31 mai 2023 (questionnaire incomplet).
- Entreprise 9 : 31 mai 2023 (questionnaire complet).
- Entreprise 10 : 31 mai 2023 (questionnaire complet).
- Entreprise 11 : 1 juin 2023 (questionnaire incomplet).

Les **6 et 15 juin 2023**, des rencontres se sont déroulées avec l'organisation partenaire pour discuter des résultats non satisfaisants de ce sondage. La décision a été prise de créer un formulaire de tournée en format Excel, pour simplifier la tâche des participants. Les répondants auront accès au formulaire quotidiennement et le rempliront à leur rythme. Ce document remplace le sondage dans la collecte des données. Un fichier Excel (formulaire de tournée) et un guide pour le compléter sont transmis au CBL le **27 juin 2023** pour validation et transmission à la liste des membres et des non-membres.

Après deux semaines, une réunion générale a été organisée avec l'organisme partenaire, au cours de laquelle la responsable nous a informés que les activités du CBL cesseraient à compter du **28 juillet 2023**. Cette décision découle de l'intention du comité directeur de l'Entente sectorielle de développement du secteur bioalimentaire des Laurentides de mettre fin au mode de fonctionnement de l'Entente 2022-2025 et de modifier sa gouvernance.

Le contenu du questionnaire

Une introduction claire et détaillée est fournie au début du questionnaire, pour expliquer le contexte du projet actuel, l'objectif du projet et les avantages de la conception d'un nouveau réseau logistique dans la région des Laurentides. Voici l'introduction du sondage : « Un projet est actuellement mené auprès du Carrefour Bioalimentaire des Laurentides, en collaboration avec une équipe de recherche de l'École des sciences de la gestion, de l'Université du Québec à Montréal (ESG-UQAM), visant à soutenir cet organisme dans ses efforts de concertation pour la planification d'un nouveau réseau logistique de transport. Ce réseau se veut un réseau intégré au niveau régional pour le secteur bioalimentaire en visant la mutualisation, l'efficacité économique et l'écoresponsabilité des entreprises. Ce projet s'inscrit dans les démarches de concertation du « Chantier Transport Durable des denrées », et il est motivé par les constats de la réalité des entreprises du secteur. En effet, la majorité des entreprises bioalimentaires de la région des Laurentides planifient leurs activités logistiques de façon indépendante. La réalité se traduit par une surexploitation des ressources, et le déplacement des camions à mi-charge ou vides. La mutualisation (ou le partage) des ressources est essentielle à ce niveau, afin de concevoir un flux de transport capable de réunir les activités de transport des entreprises de la région des Laurentides, et le projet de recherche vise à définir un outil d'aide à la décision qui permettra la planification de ce transport mutualisé. Ce sondage a pour objectif de comprendre la dynamique de votre réseau de transport des denrées alimentaires à vos clients, afin de définir les besoins qui devront être satisfaits par le nouveau réseau. Votre participation à cette étude est importante. Le Carrefour Bioalimentaire des Laurentides s'engage à prendre toutes les mesures possibles afin de garantir la confidentialité des informations transmises. Aucune donnée non anonymisée ne sera transmise à l'équipe de recherche de l'ESG-UQAM. »

Le questionnaire est divisé en sept sections, chacune consacrée à un aspect spécifique du réseau de transport, pour un total de 30 questions. Les participants disposent d'environ 3 heures pour répondre à l'ensemble du questionnaire, avec la flexibilité de

sauvegarder leurs réponses et de les compléter plus tard. Les sections couvrent les sujets suivants:

- Des informations sur la compagnie (heures d'opération, personne à contacter, relation avec le Carrefour Bioalimentaire, etc.)
- Les espaces d'entreposage
- Les flottes de véhicules et les chauffeurs
- La demande et les quantités de denrées livrées par catégorie
- La tournée de véhicules
- Le partage des ressources

La première section, "Informations sur l'entreprise", comprend cinq questions visant à obtenir une vue d'ensemble de l'identité de l'entreprise, y compris les heures d'ouverture, les données sur le répondant, etc. Passant à la section 2, "Informations sur les ressources d'entreposage", également composée de cinq questions, son objectif est de recueillir des données concernant les espaces d'entreposage. Cette section vise à découvrir la localisation et le nombre des entrepôts dont l'entreprise dispose, la disponibilité des quais, la capacité d'entreposage par type de denrées alimentaires, l'estimation des coûts d'entreposage, l'existence d'espaces d'entreposage suffisants et l'intérêt de les partager avec les autres membres, etc.

La section 3, sous le titre "Moyens de transport : flotte de véhicules", constitue la base de la conception du réseau de transport, car elle exige une connaissance profonde des ressources disponibles pour réaliser les activités de transport. En effet, la flotte de véhicules assure la distribution des denrées alimentaires, en démarrant d'un point de départ, en traversant plusieurs points de livraison et en retournant finalement au point de départ. Avant de se pencher sur la planification des tournées des véhicules, il convient de se poser les questions suivantes : le type de transporteur (privé, flotte propre ou mixte), l'intérêt pour des pratiques de mutualisation, le nombre de véhicules disponibles, le type et la marque (camion, camionnette, voiture, remorque), le type de carburant (essence, électrique), la capacité, le nombre de kilomètres parcourus, les

modes de réfrigération et de congélation, le taux de remplissage pour chaque type de denrées, l'emploi du temps du chauffeur, etc.

La section 4, "Informations sur les exigences de transport", se concentre sur la distribution des denrées alimentaires aux clients finaux. Comprenant 2 questions, elle vise à identifier les types de clients desservis par les membres du CBL (consommateur final, supermarché, restaurant), le nombre de livraisons mensuelles, le poids total des produits livrés mensuellement par type, les adresses des clients, les plages horaires, etc.

La section 5, "La tournée des véhicules", se concentre sur le routage des véhicules pour distribuer les denrées alimentaires aux clients. Une tournée représente le chemin parcouru par un véhicule (ou un conducteur). Le véhicule commence sa séquence à partir du point de départ (un dépôt ou un site), visite plusieurs points en cours de route (ces points étant les clients visités), puis revient au même point de départ pour terminer la tournée. La planification des tournées des véhicules, l'un des objectifs de notre projet de recherche, vise à réduire les déplacements, à allouer les ressources de manière efficiente, à assurer la satisfaction des clients, etc. Il serait intéressant de préciser si les livraisons de denrées alimentaires se font par transport direct ou par tournées, les séquences de visites (jour de la semaine, heure de départ, durée totale de la tournée), le matériel utilisé pour les opérations de chargement et de déchargement, ainsi que le personnel responsable.

La section 6, "Partage des ressources", étudie la volonté de l'entreprise de partager ses ressources (humaines, matérielles, etc.) avec les autres membres du CBL. Enfin, la dernière section, la section 7, permet aux participants de soumettre leurs commentaires.

Les défis du questionnaire

Malgré les efforts investis dans la conception et la distribution du questionnaire, le taux de réponse n'a pas atteint le niveau souhaité. Cela peut être lié à un certain nombre de facteurs, notamment la longueur du questionnaire, le manque de motivation des participants ou les difficultés techniques rencontrées lors de la soumission des réponses.

Décision de changer le questionnaire pour un fichier Excel (formulaire de route)

La deuxième tentative a consisté à créer un formulaire de route, une alternative au questionnaire initial, conçu pour répondre aux besoins des participants en étant plus accessible et plus flexible. Il se compose de trois feuilles, dont chacune aborde des aspects spécifiques du réseau de transport dans la région des Laurentides. Les fiches sont construites pour permettre aux répondants de remplir les informations requises de manière claire et concise, tout en leur offrant la possibilité de sauvegarder leur progression et de retourner plus tard pour remplir le formulaire à leur propre rythme.

Le détail du formulaire de route

La première feuille « Information sur la compagnie », contient 7 tableaux :

- Information générale sur la compagnie : Communiquer des informations sur le nom de la compagnie, la personne à contacter, son courriel, etc.
- Heures d'opération : Connaître les heures d'ouverture et de fermeture de l'entreprise.
- Ressources d'entreposage : Estimer le nombre d'entrepôts disponible, leur code postal, la capacité d'entreposage en fonction du type de denrées alimentaires, etc.
- Ressources de transport (flotte de véhicules) : Identifier le nombre et le type de véhicules, le modèle, le type du carburant, les dimensions, le taux de remplissage, etc.
- Information sur les clients : Localiser les clients à desservir, les fenêtres de temps pour la livraison des marchandises, etc.
- Information sur les coûts : Fournir une estimation du coût fixe et variable de transport.
- Information sur les temps : Fournir une estimation du temps de chargement et de déchargement.

La deuxième feuille, intitulée "Clients", comprend un seul tableau qui fournit un aperçu de la quantité de produits livrés à chaque client. Cette section est cruciale pour

comprendre la répartition des livraisons et l'importance de chaque client dans le réseau logistique.

La troisième feuille, consacrée à "la tournée de véhicule", comporte le tableau le plus important, car il fournit des informations détaillées sur les opérations de transport. Il indique le nombre de tournées effectuées, le nombre de clients desservis par tournée, l'heure de départ, les points de départ et d'arrivée, etc. Ces données sont essentielles pour évaluer la performance des tournées des véhicules et optimiser les tournées de livraison.

Les défis du formulaire de route

Tout comme le questionnaire, le taux de réponse était inférieur aux attentes.

Fermeture du Carrefour Bioalimentaire

Le Carrefour bioalimentaire des Laurentides a communiqué officiellement la suspension de ses opérations à travers une annonce publiée sur leur site web ¹⁷:

« C'est avec grand regret que le conseil d'administration du Carrefour bioalimentaire Laurentides annonce la cessation des activités à compter du 28 juillet 2023. Cette décision faite pour donner suite à l'intention du comité directeur de l'Entente sectorielle de développement du secteur bioalimentaire des Laurentides de mettre fin au mode de fonctionnement de l'Entente 2022-2025 et de modifier sa gouvernance. Un changement qui signifie la perte de la principale source de financement pour réaliser les activités du CBL et employer les professionnelles et son personnel de soutien. Voir l'infolettre spéciale.

Au cœur de l'écosystème bioalimentaire de la région, à l'écoute des entreprises, des territoires et des consommateurs, le Carrefour bioalimentaire Laurentides a su favoriser

¹⁷ <https://www.carrefourbioalimentaire.org/>

la rencontre de plusieurs acteurs pour stimuler l'émergence de solutions collectives. Avec des actions s'étendant du champ à l'assiette; l'accès aux terres à la relève agricole; des opportunités d'affaires pour les entreprises bioalimentaires; l'alimentation de proximité par la campagne Laurentides j'en mange; le développement de communautés nourricières; des alternatives durables pour transporter les denrées.

Ensemble, nous avons réalisé de grandes avancées pour notre région et ce fut un grand bonheur de créer, avec vous, le chemin vers le développement de systèmes alimentaires plus durables dans les Laurentides. Merci. ».

ANNEXE D

Les données concernant les membres

Tableau représentant le nombre de clients desservis par chaque membre

Membres	Clients à desservir
Membre 1	42 clients
Membre 2	3 clients
Membre 3	7 clients
Membre 4	45 clients
Membre 5	27 clients
Membre 6	14 clients
Membre 7	5 clients
Membre 8	11 clients
Membre 9	8 clients
Membre 10	50 clients
Membre 11	50 clients
Membre 12	21 clients

Tableau représentant la vitesse de chaque camion

Camion	Vitesse
Camion Ah tout cru	Uniform (60, 85)
Camion Moisson Laurentides	Uniform (55, 90)
Camion Mandys Microgreens	Uniform (57, 92)
Camion SOS Fondue	Uniform (60, 91)
Camion Jolies-Mi-Noix	Uniform (52, 87)
Camion Moulin Légaré	Uniform (52, 87)
Camion Safran des neiges	Uniform (54, 91)
Camion les sans-gaspi	Uniform (62, 82)
Camion ferme aux petits oignons	Uniform (64, 85)
Camion ferme la roquette	Uniform (64, 85)
Camion ferme la rose des vents	Uniform (69, 86)

ANNEXE E

VRP Spreadsheet solver

Prenons l'exemple du membre Ferme la roquette; voici les données d'entrées intégrées dans le VRP spreadsheet solver. La Figure suivante présente tout d'abord la console. Le nombre de dépôt est fixé à 1, et qui réfère à l'adresse de Ferme la roquette. Ce membre doit desservir 7 clients, dont le nombre est intégré dans la partie nombre de clients, qui varie entre 5 et 200. Puisque nous utilisons une infolettre homogène, le nombre de types de véhicules est égal à 1. Parmi les tournées recommandées, nous choisissons le type de tournée le plus rapide. Une fois la tournée terminée, le camion retourne au dépôt.

A	B	C	D	
Séquence	Paramètre	Valeur	Remarques	
0	Interface	Langue	Française	Veillez vous référer au manuel pour modifier l'interface.
		Facultatif - Clé Bing Maps	AhS2wdH6VTigRQhC2oyzb4uRnUcRfBpxJl	Vous pouvez obtenir une clé d'essai gratuite sur https://www.bingmapsportal.com/
1	1. Localisations	Nombre de dépôts	1	[1, 20]
		Nombre de clients	7	[5, 200]
2	2. distances	Méthode de calcul de distance	Distances de conduite Bing Maps (km)	Recommandation: utilisez le format «code postal, pays» pour les adresses
		Méthode de calcul de la durée	Durées de conduite Bing Maps	
0		Mode de voyage Bing Maps	Conduite	
1		Type d'itinéraire Bing Maps	Le plus rapide	Recommandation: utilisez 'Fastest'
2		Niveau de détail de l'itinéraire Bing Maps	3	[0, 10]
3		Vitesse moyenne du véhicule	70	
3	3. véhicules	Nombre de types de véhicules	1	
4	4. solution	Les véhicules retournent-ils à leur (s) dépôt (s)?	Oui - une seule fois à la fin	
8		Type de fenêtre de temps	Dur	
9		Backhauls?	Non	Si activé, les lieux de livraison doivent être visités avant les lieux de ramassage
5	5. facultatif - visualisation	Contexte de visualisation	Cartes Bing	
2		Libellés d'emplacement	ID d'emplacement	
4	6. solveur	Démarrage à chaud?	Oui	
5		Afficher la progression sur la barre d'état?	Non	
6		Limite de temps CPU (secondes)	120	Recommandation: au moins 60 secondes

La Figure suivante montre la localisation des clients de la ferme, suivant leur adresse. Des latitudes et des longitudes sont générées. Le temps de service (chargement/déchargement) est estimé à 20 minutes.

Location ID	Name	Address	Latitude (y)	Longitude (x)	Time window start	Time window end	Must be visited?	Service time	Pickup amount	Delivery amount	Profit
0	Depot	42 Rte du Canton, Brownsburg, Quebec, J8G 1Y7	45.6397651	-74.3848472	00:00	23:59	Starting location	0:00	0	0	0
1	CLSC Lafontaine	1000 RUE LABELLE, SAINT-JÉRÔME, QUEBEC, J7Z 5N6	45.7930660	-74.0083087	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	0	0
2	Gare Saint-Jérôme	280 RUE LATOUR, SAINT-JÉRÔME, QUEBEC, J7Z 5H6	45.7740160	-73.9998260	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	0	0
3	Bocaux et Co.	2949 BOUL. DES PROMENADES, LOCAL 105, SAINTE-MARTHE-SUR-LAC, QUEBEC, J0N 1P0	45.5332946	-73.9311479	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	0	0
4	Marché Station 54 (métro Rosemont)	760 Bd Rosemont, Montréal, QC H2S 0A7	45.5326928	-73.5969725	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	0	0
5	Simplement Vrac, Saint-Sauveur	27-B Avenue de l'Église, Saint-Sauveur, Quebec, J0R 1R0	45.8963760	-74.1574018	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	0	0
6	Prévost, Lac Écho	1353 Rue de l'Érablière, Prévost, QC J0R 1T0	45.8764373	-74.0209005	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	0	0
7	Station 210	210 ROUTE DU LONG-SAULT, SAINT-ANDRÉ D'ARGENTEUIL, QC J0V 1X0	45.5616497	-74.3349736	00:00	23:59	Must be visited	0:20	0	0	0

La Figure suivante présente les distances totales parcourus de chaque point d'origine à chaque point de destination. Nous avons considéré un camion de capacité 53, qui commence sa route à 8 heure le matin et conduit pour une durée totale de 8 heures.

Method:		Bing Maps driving distances (km) / Bing Maps driving durations / Driving	
From	To	Distance	Duration
Depot	Depot	0.00	0:00
Depot	CLSC Lafontaine	50.83	0:33
Depot	Gare Saint-Jérôme	46.31	0:33
Depot	Bocaux et Co.	51.81	0:39
Depot	Marché Station 54 (métro Rosemont)	79.31	0:54
Depot	Simplement Vrac, Saint-Sauveur	47.19	0:42
Depot	Prévost, Lac Écho	61.76	0:43
Depot	Station 210	12.62	0:11
CLSC Lafontaine	Depot	49.21	0:33
CLSC Lafontaine	CLSC Lafontaine	0.00	0:00
CLSC Lafontaine	Gare Saint-Jérôme	2.54	0:06
CLSC Lafontaine	Bocaux et Co.	40.50	0:29
CLSC Lafontaine	Marché Station 54 (métro Rosemont)	53.15	0:41
CLSC Lafontaine	Simplement Vrac, Saint-Sauveur	18.23	0:17
CLSC Lafontaine	Prévost, Lac Écho	11.99	0:14
CLSC Lafontaine	Station 210	52.27	0:36
Gare Saint-Jérôme	Depot	46.12	0:32
Gare Saint-Jérôme	CLSC Lafontaine	2.55	0:06
Gare Saint-Jérôme	Gare Saint-Jérôme	0.00	0:00
Gare Saint-Jérôme	Bocaux et Co.	37.41	0:29

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	M
Starting depot	Vehicle type	Capacity	Fixed cost per trip	Cost per unit distance	Duration multiplier	Distance limit	Work start time	Driving time limit	Working time limit	Return depot	Number of vehicles
Depot	T1	53	0.00	1.00	1.00	1000000.00	07:00	8:00	8:00	Depot	1

La Figure suivante démontre que le VRP spreadsheet solver a généré une tournée pour le membre Ferme la roquette. La tournée commence à 7 heures le matin, pour terminer à 12 heures et 42 minutes en après-midi. La distance totale parcourue est de 222.22 kilomètres.

Les résultats du VRP spreadsheet solver

- Ah tout cru le bec

Total net profit:	-2350.35							
Vehicle:	V1	Stops:	6		Net profit:	-369.38		
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	Marché Vaillancourt	1.26	0:02	07:02	07:22	0:22	0	0
2	Aliments naturels Veda Balance	98.65	1:11	08:31	08:51	1:51	0	0
3	Herb & Spice	182.13	2:10	09:50	10:10	3:10	0	0
4	Marché Solidarité Outaouais	185.82	2:20	10:20	10:40	3:40	0	0
5	Emile Péloquin	195.38	2:36	10:56	11:16	4:16	0	0
6	Depot	369.38	4:31	13:11		6:11	0	0
7								

Vehicle:	V2	Stops:	11		Net profit:	-355.83		
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	Épicerie Fine La Rose Bonbon	7.38	0:09	07:09	07:29	0:29	0	0
2	Marché simple, alimentation en vrac	7.46	0:09	07:29	07:49	0:49	0	0
3	La fabrique végété	15.99	0:20	08:00	08:20	1:20	0	0
4	Café O' Marguerites	28.38	0:32	08:32	08:52	1:52	0	0
5	Bio Sattva	51.92	0:52	09:12	09:32	2:32	0	0
6	Espace terroir des laurentides	52.58	0:53	09:33	09:53	2:53	0	0
7	Carrefour bioalimentaire Laurentides	59.47	1:00	10:00	10:20	3:20	0	0
8	Apogee Santé	89.60	1:25	10:45	11:05	4:05	0	0
9	Fromagerie Ptit train du nord	195.28	2:35	12:15	12:35	5:35	0	0
10	La Bohémienne	254.45	3:18	13:18	13:38	6:38	0	0
11	Depot	355.83	4:34	14:54		7:54	0	0
12								

Vehicle:	V3	Stops:	8		Net profit:	-170.92		
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	La Moisson	53.99	0:35	07:35	07:55	0:55	0	0
2	Nutrition bio keto	55.26	0:38	07:58	08:18	1:18	0	0
3	Santé action	57.93	0:43	08:23	08:43	1:43	0	0
4	La douceur du terroir	58.96	0:46	08:46	09:06	2:06	0	0
5	Bocaux & Co	65.10	0:56	09:16	09:36	2:36	0	0
6	Kéto Duo	114.41	1:36	10:16	10:36	3:36	0	0
7	Provigo	115.97	1:38	10:38	10:58	3:58	0	0
8	Depot	170.92	2:21	11:41		4:41	0	0
9								

Vehicle:	V4	Stops:	12	Net profit:	-294.52				
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	Biotope	94.01	1:01	08:01	08:21	1:21	0	0	
2	Csur marché Eclocal	121.03	1:20	08:40	09:00	2:00	0	0	
3	Terroirs Québec	187.40	2:03	09:43	10:03	3:03	0	0	
4	Chez Robin	203.31	2:20	10:20	10:40	3:40	0	0	
5	Allons Vert	206.71	2:29	10:49	11:09	4:09	0	0	
6	L'Autre Choix Mini Marche	210.37	2:40	11:20	11:40	4:40	0	0	
7	À votre Santé	210.99	2:43	11:43	12:03	5:03	0	0	
8	Marché 3 piliers	218.71	3:03	12:23	12:43	5:43	0	0	
9	Bioterre	220.89	3:10	12:50	13:10	6:10	0	0	
10	Mission santé Thuy	221.64	3:13	13:13	13:33	6:33	0	0	
11	Rachelle Bery Saint-Sauveur	287.90	4:02	14:22	14:42	7:42	0	0	
12	Depot	294.52	4:08	14:48		7:48	0	0	
13									

Vehicle:	V5	Stops:	4	Net profit:	-681.04				
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	Alimentex	323.18	3:03	10:03	10:23	3:23	0	0	
2	La Manne	450.85	4:23	11:43	12:03	5:03	0	0	
3	Panier Santé	503.45	5:08	12:48	13:08	6:08	0	0	
4	Depot	681.04	6:59	14:59		7:59	0	0	
5									

Vehicle:	V6	Stops:	7	Net profit:	-478.66				
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	Rachelle Béry Beaubien	74.84	0:53	07:53	08:13	1:13	0	0	
2	Maturin	92.06	1:18	08:38	08:58	1:58	0	0	
3	Sonia Charbonneau	107.60	1:38	09:18	09:38	2:38	0	0	
4	Verveine & Cie	164.65	2:29	10:29	10:49	3:49	0	0	
5	Alentour Coopérative	252.22	3:26	11:46	12:06	5:06	0	0	
6	La grande Ruche	256.12	3:33	12:13	12:33	5:33	0	0	
7	Depot	478.66	5:50	14:50		7:50	0	0	
8									

■ Ferme la rose des vents

Vehicle:	V1	Stops:	11	Net profit:	-498.82				
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	La Microbrasserie (Mont-Laurier)	2.80	0:04	07:04	07:24	0:24	0	0	
2	La Chaumière (Mont-Laurier)	3.69	0:05	07:25	07:45	0:45	0	0	
3	Les Marettes (Mont-Laurier)	4.29	0:06	07:46	08:06	1:06	0	0	
4	Les Passionnés (Saint-Lin)	145.32	1:42	09:42	10:02	3:02	0	0	
5	Général café (Val-David)	145.89	1:43	10:03	10:23	3:23	0	0	
6	Baril roulant (Val-David)	146.30	1:44	10:24	10:44	3:44	0	0	
7	Milles-pâtes (Mont-Tremblant)	181.72	2:11	11:11	11:31	4:31	0	0	
8	La Boite à grain (Supermarché Santé) 2	326.49	3:49	13:09	13:29	6:29	0	0	
9	La Boite à grain (Supermarché Santé) 1	336.34	4:01	13:41	14:01	7:01	0	0	
10	La Boite à grain (Supermarché Santé)	340.66	4:08	14:08	14:28	7:28	0	0	
11	Depot	498.82	6:11	16:31		9:31	0	0	
12									

Vehicle:	V2	Stops:	12	Net profit:	-466.52				
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	Les Arts Gourmets (Prévoist)	172.90	1:59	08:59	09:19	2:19	0	0	
2	Les Fermes Lufa (Montréal)	225.89	2:35	09:55	10:15	3:15	0	0	
3	Boucherie de la côte (Montréal)	230.48	2:45	10:25	10:45	3:45	0	0	
4	Marché des saveurs du québec (Montréal)	230.48	2:45	10:45	11:05	4:05	0	0	
5	Aliments Conserva (Montréal)	231.86	2:51	11:11	11:31	4:31	0	0	
6	Vinvinvin (Montréal)	232.78	2:55	11:35	11:55	4:55	0	0	
7	Restaurant chez Chose	233.97	2:58	11:58	12:18	5:18	0	0	
8	Épicerie les Récoltes (Montréal)	233.97	2:58	12:18	12:38	5:38	0	0	
9	Petite Boulangerie (Montréal)	239.17	3:09	12:49	13:09	6:09	0	0	
10	Westwood (Laval)	246.02	3:21	13:21	13:41	6:41	0	0	
11	Le Mapache (Val-Morin)	316.46	4:07	14:27	14:47	7:47	0	0	
12	Depot	466.52	5:53	16:33		9:33	0	0	
13									

Vehicle:	V3	Stops:	11	Net profit:	-508.82				
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	Le Réservoir (Montréal)	233.21	2:37	09:37	09:57	2:57	0	0	
2	Institut Hôtelière de Montréal (Montréal)	234.34	2:41	10:01	10:21	3:21	0	0	
3	Restaurant le Cadet (Montréal)	235.89	2:47	10:27	10:47	3:47	0	0	
4	Restaurant Soubois (Montréal)	237.35	2:53	10:53	11:13	4:13	0	0	
5	Maison boulud (Montréal)	237.73	2:55	11:15	11:35	4:35	0	0	
6	Fairmont Le Reine Élizabeth (Montréal)	238.81	2:59	11:39	11:59	4:59	0	0	
7	Boucherie Adélard Bélanger (Montréal)	242.13	3:10	12:10	12:30	5:30	0	0	
8	Foxy (Montréal)	243.57	3:15	12:35	12:55	5:55	0	0	
9	Restaurants Park (Montréal)	247.54	3:27	13:07	13:27	6:27	0	0	
10	La Mie Bio (Pointe-Clair) (Boulangerie)	269.77	3:47	13:47	14:07	7:07	0	0	
11	Depot	508.82	6:23	16:43		9:43	0	0	
12									

Vehicle:	V4	Stops:	11	Net profit:	-503.87				
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	Restaurant provisions (Montréal)	229.76	2:33	09:33	09:53	2:53	0	0	
2	Maitre Gourmet (Montéal) (Boucherie)	233.30	2:43	10:03	10:23	3:23	0	0	
3	Boucherie Champfleuri (Montréal)	234.27	2:46	10:26	10:46	3:46	0	0	
4	Maturin (Longueuil)	249.00	3:05	11:05	11:25	4:25	0	0	
5	Boucherie Beau-bien (Montréal)	263.76	3:25	11:45	12:05	5:05	0	0	
6	Le Robin des Bois (Montréal)	267.83	3:38	12:18	12:38	5:38	0	0	
7	Paradis BBQ (Montréal)	269.69	3:45	12:45	13:05	6:05	0	0	
8	Fitzroy (Montréal)	270.24	3:47	13:07	13:27	6:27	0	0	
9	Marché les 3 piliers (Montréal)	270.68	3:49	13:29	13:49	6:49	0	0	
10	Boucherie ça va barder (Montréal)	278.19	4:07	14:07	14:27	7:27	0	0	
11	Depot	503.87	6:32	16:52		9:52	0	0	
12									

Vehicle:	V5	Stops:	5	Net profit:	-812.37				
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	Boucherie de praz	409.47	4:17	11:17	11:37	4:37	0	0	
2	Côte croisé (Boucherie)	420.67	4:31	11:51	12:11	5:11	0	0	
3	Grenier des saveurs (Boucherie et charcuterie)	524.26	5:43	13:23	13:43	6:43	0	0	
4	Jardin des druidesse (Boutique de produits naturels)	527.44	5:49	13:49	14:09	7:09	0	0	
5	Depot	812.37	8:39	16:59		9:59	0	0	
6									

- Jolies mi-noix

Vehicle:	V1	Stops:	4		Net profit:	-978.91		
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	Bistro Boréal chez Boulay	489.17	4:55	11:55	12:15	5:15	0	0
2	Comptoir Boréal chez Boulay	489.17	4:55	12:15	12:35	5:35	0	0
3	Les botanistes Restaurant	504.00	5:14	12:54	13:14	6:14	0	0
4	Depot	978.91	9:50	17:50		10:50	0	0
5								
6								

Vehicle:	V2	Stops:	12		Net profit:	-538.70		
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	Boutique Du Village - Mont-laurier	19.98	0:18	07:18	07:38	0:38	0	0
2	Yannick fromagerie	199.14	2:13	09:33	09:53	2:53	0	0
3	Les Fromageries de la Table ronde	214.15	2:29	10:09	10:29	3:29	0	0
4	L'Échoppe des Fromages	274.32	3:24	11:24	11:44	4:44	0	0
5	MARCHÉ ARTISANS	281.75	3:41	12:01	12:21	5:21	0	0
6	Comptoir-Épicerie Signé Toqué	287.40	3:58	12:38	12:58	5:58	0	0
7	le marché des saveurs	293.15	4:15	13:15	13:35	6:35	0	0
8	Espace Terroir des Laurentides	378.19	5:12	14:32	14:52	7:52	0	0
9	LE CAVEAU	389.17	5:20	15:00	15:20	8:20	0	0
10	Gourmet sauvage	408.60	5:33	15:33	15:53	8:53	0	0
11	Marché et bistro fermiers aux petits oignons	419.62	5:42	16:02	16:22	9:22	0	0
12	Depot	538.70	7:02	17:42		10:42	0	0
13								

Vehicle:	V3	Stops:	9		Net profit:	-380.70		
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	Restaurant Les Fougères	178.04	2:14	09:14	09:34	2:34	0	0
2	La trappe à fromage CHELSEA	181.26	2:18	09:38	09:58	2:58	0	0
3	La trappe à fromage à VAL-DES-MONTS	217.72	2:43	10:23	10:43	3:43	0	0
4	Épicerie tout verte tout pur	361.95	4:31	12:31	12:51	5:51	0	0
5	Fromagerie le P'tit train du nord Inc.	362.00	4:31	12:51	13:11	6:11	0	0
6	LÉMARETTES	362.05	4:31	13:11	13:31	6:31	0	0
7	Vrac eco	362.39	4:32	13:32	13:52	6:52	0	0
8	BEN BAGEL	362.76	4:33	13:53	14:13	7:13	0	0
9	Depot	380.70	4:46	14:26		7:26	0	0
10								

Vehicle:	V4	Stops:	6		Net profit:	-830.15		
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	Recto-Verso restaurant traiteur	171.75	1:55	08:55	09:15	2:15	0	0
2	Au jardin des noix	232.79	2:51	10:11	10:31	3:31	0	0
3	Fromageriedu Presbytère	391.27	4:35	12:15	12:35	5:35	0	0
4	Sojà d'ici	451.18	5:21	13:21	13:41	6:41	0	0
5	Fromagerie Nouvelle-France	453.88	5:23	13:43	14:03	7:03	0	0
6	Depot	830.15	9:20	18:00		11:00	0	0
7								

▪ Les Sans-Gaspi

Véhicule:	V1	Arrêts:	5		Bénéfice net:	-254.33		
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge
0	Dépôt Les Sans-Gaspi	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	Chocostyle	87.35	0:54	07:54	08:14	1:14	0	0
2	83 Nord	106.79	1:09	08:29	08:49	1:49	0	0
3	Vergers Lamarche - Cidrie Chantepom	225.12	2:24	10:04	10:24	3:24	0	0
4	Vignoble les Vents d'Ange Centre d'interprétation de la course	226.38	2:26	10:26	10:46	3:46	0	0
5	Dépôt Les Sans-Gaspi	254.33	2:47	11:07		4:07	0	0
6								

Véhicule:	V2	Arrêts:	11	Bénéfice net:	-110.75				
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge	
0	Dépôt Les Sans-Gaspi	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	Louisa Café de quartier	1.56	0:04	07:04	07:24	0:24	0	0	
2	La Bine	22.35	0:19	07:39	07:59	0:59	0	0	
3	Magasin Général Vrac & Compagnie	42.71	0:36	08:16	08:36	1:36	0	0	
4	Marché second life	67.36	0:58	08:58	09:18	2:18	0	0	
5	Méga Vrac	76.95	1:14	09:34	09:54	2:54	0	0	
6	Marché des saveurs du Québec	78.07	1:18	09:58	10:18	3:18	0	0	
7	La Générale - Écodep de quartier	81.18	1:30	10:30	10:50	3:50	0	0	
8	BocoBoco	83.14	1:36	10:56	11:16	4:16	0	0	
9	Mission Salto	89.20	1:49	11:29	11:49	4:49	0	0	
10	Simplitude	92.25	1:56	11:56	12:16	5:16	0	0	
11	Dépôt Les Sans-Gaspi	110.75	2:20	12:40		5:40	0	0	

- Mandys Microgreens

V1	Arrêts:	6	Bénéfice net:	-283.92				
Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge	
Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
MONT TREMBLANT SUMMER MARKET (Tous les samedis d'été, du 10 juin au 9 septembre - 9h à 13h)	31.56	0:30	07:30	07:50	0:50	0	0	
ÉPICERIE 83 NORD	40.62	0:39	07:59	08:19	1:19	0	0	
ATWATER MARKET	171.36	2:03	09:43	10:03	3:03	0	0	
SEGAL'	176.52	2:17	10:17	10:37	3:37	0	0	
JEAN TALON MARKET	180.62	2:26	10:46	11:06	4:06	0	0	
Dépôt	283.92	3:42	12:22		5:22	0	0	

- Moisson Laurentides

Vehicule:	V1	Stops:	22	Net profit:	-511.79			
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load
0	Depot	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	Paroisse Ste-Famille	4.30	0:08	07:08	07:08	0:08	0	0
2	St-Antoine	17.21	0:23	07:23	07:23	0:23	0	0
3	Coup de pouce	20.08	0:30	07:30	07:30	0:30	0	0
4	Café de Rue SOS	21.09	0:32	07:32	07:32	0:32	0	0
5	Centre de la famille du Grand St-Jérôme	21.40	0:33	07:33	07:33	0:33	0	0
6	Maison pause-Parent	22.21	0:36	07:36	07:36	0:36	0	0
7	Centre de Jour St-Jérôme	22.87	0:38	07:38	07:38	0:38	0	0
8	Amie du Quartier	25.25	0:44	07:44	07:44	0:44	0	0
9	Paroisse Ste -Paule	26.79	0:47	07:47	07:47	0:47	0	0
10	Comptoir d'aide alimentaire de St-Hippolite	41.00	1:05	08:05	08:05	1:05	0	0
11	Maison d'entraide de Prévost	52.85	1:22	08:22	08:22	1:22	0	0
12	Bouffe Laurentienne	86.81	1:44	08:44	08:44	1:44	0	0
13	Le Centre communautaire de Ferme-Neuve	240.84	3:31	10:31	10:31	3:31	0	0
14	La Manne du jour de Mont-Laurier	259.70	3:47	10:47	10:47	3:47	0	0
15	Notre-Dame de la Salette	440.42	5:46	12:46	12:46	5:46	0	0
16	Centre d'entraide de St-Colomban	448.79	5:56	12:56	12:56	5:56	0	0
17	Dépannage St-Canut	454.47	6:03	13:03	13:03	6:03	0	0
18	Le Relais à Boisbriand	484.77	6:27	13:27	13:27	6:27	0	0
19	Centre regain de vie	489.72	6:36	13:36	13:36	6:36	0	0
20	Centre d'entraide Thérèse De Blainville	491.85	6:41	13:41	13:41	6:41	0	0
21	Maison de la famille de Bois-des-Filion	501.42	6:53	13:53	13:53	6:53	0	0
22	Depot	511.79	7:05	14:05		7:05	0	0

- Moulin Légaré

Véhicule:	V1	Arrêts:	12 Bénéfice net:		-102.56				
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge	
0	Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	IGA DEUX-MONTAGNES	2.15	0:04	07:04	07:24	0:24	0	0	
2	Métro plus Sainte-Marthe-sur-le-Lac	5.44	0:10	07:30	07:50	0:50	0	0	
3	IGA Lamoureux Saint-Joseph-du-Lac	11.19	0:19	07:59	08:19	1:19	0	0	
4	La Marmite du terroir	17.83	0:27	08:27	08:47	1:47	0	0	
5	Métro Alimentation François Ethier	35.73	0:43	09:03	09:23	2:23	0	0	
6	Cabane à sucre Constantin	40.18	0:47	09:27	09:47	2:47	0	0	
7	Jean coutu	45.60	0:53	09:53	10:13	3:13	0	0	
8	Tarterie du Verger des Musiques inc.	45.60	0:53	10:13	10:33	3:33	0	0	
9	IGA EXTRA LAMOUREUX SAINT-EUSTACHE	47.66	0:57	10:37	10:57	3:57	0	0	
10	Réveil-Matin	60.10	1:07	11:07	11:27	4:27	0	0	
11	Métro Alimentation Gaudenzio Gabrielli	79.12	1:26	11:46	12:06	5:06	0	0	
12	Dépôt	102.56	1:49	12:29		5:29	0	0	

▪ Safran des neiges

Véhicule:	V1	Arrêts:	9 Bénéfice net:		-158.20				
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge	
0	Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	La Sandwicherie Café + Bistro	19.13	0:21	07:21	07:41	0:41	0	0	
2	Farouche Tremblant	40.99	0:46	08:06	08:26	1:26	0	0	
3	L'Étalage Marché Gourmand	48.31	0:54	08:34	08:54	1:54	0	0	
4	Le Saint-Agricole - Coopérative alimentaire de Val-des-	62.72	1:12	09:12	09:32	2:32	0	0	
5	Coop du Coin - Magasin général	85.40	1:35	09:55	10:15	3:15	0	0	
6	ChocoStyle	109.53	1:56	10:36	10:56	3:56	0	0	
7	Sentier des cimes Laurentides	121.87	2:05	11:05	11:25	4:25	0	0	
8	Poissonnerie Ô Capitaine	128.05	2:12	11:32	11:52	4:52	0	0	
9	Dépôt	158.20	2:34	12:14		5:14	0	0	
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									

- SOS fondue Inc. (Pour ce membre, nous avons découpé la liste en deux pour que le solveteur puisse trouver une solution).

SOS Fondue Inc. 1

Véhicule:	V1	Arrêts:	14 Bénéfice net:		-213.52				
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge	
0	Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0	
1	GESTION FAMILLE DÉZIEL INC.	82.92	0:52	07:52	08:12	1:12	0	0	
2	Boucherie Nordest	86.59	1:03	08:23	08:43	1:43	0	0	
3	MARCHÉ IGA BARCELO	87.53	1:07	08:47	09:07	2:07	0	0	
4	IGA extra PLACE LONGUEUIL	97.02	1:27	09:27	09:47	2:47	0	0	
5	IGA LACOSTE HÉBERT INC.	100.90	1:38	09:58	10:18	3:18	0	0	
6	LES MARCHÉS LOUISE MÉNARD (ST-LAMBERT) INC.	105.57	1:49	10:29	10:49	3:49	0	0	
7	LES MARCHÉS LOUISE MÉNARD INC.	107.70	1:53	10:53	11:13	4:13	0	0	
8	L'Amour du Pain Griffintown	114.03	2:04	11:24	11:44	4:44	0	0	
9	LES MARCHÉS LOUISE MÉNARD INC.	117.34	2:12	11:52	12:12	5:12	0	0	
10	SOBEYS CAPITAL INC. 4	120.73	2:21	12:21	12:41	5:41	0	0	
11	MARCHÉ BARCELO MOLSON INC.	123.44	2:29	12:49	13:09	6:09	0	0	
12	ÉPICERIE F.CHARTRAND INC.	124.60	2:33	13:13	13:33	6:33	0	0	
13	IGA FAMILLE DÉZIEL INC.	128.38	2:42	13:42	14:02	7:02	0	0	
14	Dépôt	213.52	3:36	14:56		7:56	0	0	

Véhicule:	V2	Arrêts:	13 Bénéfice net:			-215.13		
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge
0	Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	IGA extra MARCHÉ RICHARD TELLIER	70.86	0:45	07:45	08:05	1:05	0	0
2	MARCHÉ RICHARD TELLIER SAINTE-DOROTHÉ INC.	79.32	0:55	08:15	08:35	1:35	0	0
3	ALIMENTATION J.P.J. MARTIN INC.	87.93	1:07	08:47	09:07	2:07	0	0
4	IGA extra FAMILLE LALONDE	92.17	1:16	09:16	09:36	2:36	0	0
5	MARCHÉ GAGNON ET FILS INC.	97.51	1:26	09:46	10:06	3:06	0	0
6	IGA TOPPETTA	106.06	1:37	10:17	10:37	3:37	0	0
7	IGA extra MARCHÉ J.E.V. INC.	111.98	1:47	10:47	11:07	4:07	0	0
8	SUPERMARCHÉ LIPARI INC.	118.75	2:05	11:25	11:45	4:45	0	0
9	LES ALIMENTATIONS SHNAIDMAN PAGANO INC.	122.53	2:14	11:54	12:14	5:14	0	0
10	SOBEYS QUÉBEC INC. 1	126.08	2:24	12:24	12:44	5:44	0	0
11	IGA extra PIERRE LEDUC ET FILLES	136.49	2:37	12:57	13:17	6:17	0	0
12	9247-4121 QUÉBEC INC.	141.02	2:47	13:27	13:47	6:47	0	0
13	Dépôt	215.13	3:35	14:35		7:35	0	0
14								

Véhicule:	V3	Arrêts:	13 Bénéfice net:			-216.31		
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge
0	Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	9218-9646 QUÉBEC INC.	72.44	0:48	07:48	08:08	1:08	0	0
2	MARCHÉ DUCHEMIN & FRÈRES INC.	80.81	1:05	08:25	08:45	1:45	0	0
3	SOBEYS QUÉBEC INC. 2	90.14	1:19	08:59	09:19	2:19	0	0
4	IGA MARCHÉ CLAUDE ST-PIERRE	96.74	1:29	09:29	09:49	2:49	0	0
5	IGA extra BECK INC.	100.41	1:37	09:57	10:17	3:17	0	0
6	IGA GÉRARD CHAMPAGNE ET FILS LTÉE	105.25	1:48	10:28	10:48	3:48	0	0
7	MARCHÉ D'ALIMENTATION CHAMPAGNE	106.39	1:52	10:52	11:12	4:12	0	0
8	LES MARCHÉS LOUISE MÉNARD INC. 1	112.23	2:06	11:26	11:46	4:46	0	0
9	LES MARCHÉS LOUISE MÉNARD (Ile-des-Soeurs) INC.	115.02	2:13	11:53	12:13	5:13	0	0
10	SOBEYS QUÉBEC INC. 5	119.50	2:21	12:21	12:41	5:41	0	0
11	SOBEYS QUÉBEC INC. 3	122.13	2:31	12:51	13:11	6:11	0	0
12	SOBEYS QUÉBEC INC.	123.79	2:36	13:16	13:36	6:36	0	0
13	Dépôt	216.31	3:37	14:37		7:37	0	0
14								

Véhicule:	V4	Arrêts:	14 Bénéfice net:			-204.40		
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge
0	Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	IGA MARCHÉ DES OISEAUX INC.	70.31	0:43	07:43	08:03	1:03	0	0
2	IGA extra AUTEUIL	76.42	0:53	08:13	08:33	1:33	0	0
3	Pâtisserie Chocolaterie Raffin	77.31	0:54	08:34	08:54	1:54	0	0
4	ALIMENTATION C.C.SÉVIGNY INC.	83.06	1:05	09:05	09:25	2:25	0	0
5	GS LAVAL INC.	88.96	1:18	09:38	09:58	2:58	0	0
6	IGA extra MARCHÉ SÉNÉCAL INC.	94.22	1:32	10:12	10:32	3:32	0	0
7	IGA extra C.D.L.TELLIER INC.	95.86	1:40	10:40	11:00	4:00	0	0
8	ALIMENTATION HOCHELAGA G.S. INC.	104.79	1:56	11:16	11:36	4:36	0	0
9	IGA extra LANGELE	111.22	2:06	11:46	12:06	5:06	0	0
10	IGA TELLIER BEAUBIEN INC.	113.83	2:14	12:14	12:34	5:34	0	0
11	IGA extra TELLIER JEAN-TALON INC.	114.90	2:17	12:37	12:57	5:57	0	0
12	MARCHÉ DAMA INC.	123.82	2:34	13:14	13:34	6:34	0	0
13	9246-3710 QUÉBEC INC. 307, boulevard Cartier Ouest, Laval-des-Rapides, Québec	127.98	2:42	13:42	14:02	7:02	0	0
14	Dépôt	204.40	3:30	14:50		7:50	0	0
15								

SOS Fondue Inc.2

Véhicule:	V1	Arrêts:	15 Bénéfice net:			-229.78		
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge
0	Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	IGA extra JACQUES DAIGLE INC.	65.67	0:42	07:42	08:02	1:02	0	0
2	SUPERMARCHÉ JACQUES DAIGLE INC. 1	68.66	0:50	08:10	08:30	1:30	0	0
3	FAMILLE CRÉGHEUR (LA PINIÈRE) INC.	82.51	1:02	08:42	09:02	2:02	0	0
4	IGA FAMILLE PIERRE GRÉGHEUR INC.	89.51	1:13	09:13	09:33	2:33	0	0
5	ALIMENTATION PROULX TERREBONNE INC.	95.00	1:20	09:40	10:00	3:00	0	0
6	Salaison Limoges Extra	95.32	1:20	10:00	10:20	3:20	0	0
7	MARCHÉ ALIMENTATION PROULX INC.	98.65	1:26	10:26	10:46	3:46	0	0
8	IGA extra MASCOUCHE	101.20	1:31	10:51	11:11	4:11	0	0
9	LA BINE	104.72	1:37	11:17	11:37	4:37	0	0
10	SUPERMARCHÉ CREVIER (Lachenaie) INC.	118.07	1:48	11:48	12:08	5:08	0	0
11	IGA extra CREVIER (REPENTIGNY) INC.	126.57	1:57	12:17	12:37	5:37	0	0
12	ALIMENTATION ÉRIC HAUPTMAN 2020 INC.	131.36	2:05	12:45	13:05	6:05	0	0
13	IGA extra MONTÉE GAGNON INC.	160.08	2:25	13:25	13:45	6:45	0	0
14	MARCHÉ GIRARD TERREBONNE	164.97	2:32	13:52	14:12	7:12	0	0
15	Dépôt	229.78	3:19	14:59		7:59	0	0

Véhicule:	V2	Arrêts:	13 Bénéfice net:					
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge
0	Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	SUPERMARCHÉ JACQUES DAIGLE INC.	60.25	0:39	07:39	07:59	0:59	0	0
2	IGA extra SUPERMARCHÉ LE FAUBOURG INC.	65.07	0:47	08:07	08:27	1:27	0	0
3	Persil & Cie	80.20	1:01	08:41	09:01	2:01	0	0
4	IGA LAMOUREUX	84.14	1:06	09:06	09:26	2:26	0	0
5	9384-1732 QUÉBEC INC. 3	92.10	1:17	09:37	09:57	2:57	0	0
6	IGA extra DON QUICHOTTE INC.	133.45	1:54	10:34	10:54	3:54	0	0
7	IGA ALIMENTATION E.F.Y. CARON INC.	149.46	2:11	11:11	11:31	4:31	0	0
8	ALIMENTATION SÉVIGNY IB INC.	154.75	2:21	11:41	12:01	5:01	0	0
9	IGA QUINTAL ET FRÈRES (1979) INC.	179.98	2:51	12:31	12:51	5:51	0	0
10	9384-1732 QUÉBEC INC.	182.86	2:56	12:56	13:16	6:16	0	0
11	Cabane à sucre Constantin	190.28	3:05	13:25	13:45	6:45	0	0
12	MARCHÉ GIRARD ST-AUGUSTIN INC.	202.69	3:17	13:57	14:17	7:17	0	0
13	Dépôt	262.78	3:59	14:59		7:59	0	0

Véhicule:	V3	Arrêts:	13 Bénéfice net:					
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge
0	Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	IGA extra CHÂTEAUGUAY	104.95	1:09	08:09	08:29	1:29	0	0
2	MARCHÉ FAMILLE GADOUA INC.	117.56	1:24	08:44	09:04	2:04	0	0
3	FAMILLE REID-BOURSIER INC.	132.45	1:38	09:18	09:38	2:38	0	0
4	MARCHÉ LAMBERT ET FRÈRES INC.	152.20	1:56	09:56	10:16	3:16	0	0
5	MARCHÉ LAMBERT ET FRÈRES INC. 3	157.13	2:04	10:24	10:44	3:44	0	0
6	MARCHÉ LAMBERT ET FRÈRES INC. 4	163.99	2:15	10:55	11:15	4:15	0	0
7	L'Amour du Pain 1	168.36	2:22	11:22	11:42	4:42	0	0
8	IGA extra SUPERMARCHÉ PICARD INC.	169.27	2:24	11:44	12:04	5:04	0	0
9	MARCHÉ DU FAUBOURG INC.	175.52	2:37	12:17	12:37	5:37	0	0
10	IGA extra MARTIN LAMARRE INC.	178.85	2:44	12:44	13:04	6:04	0	0
11	Saucisse etc.	223.90	3:15	13:35	13:55	6:55	0	0
12	LA SEIGNEURIE BLAINVILLE INC.	227.97	3:21	14:01	14:21	7:21	0	0
13	Dépôt	286.22	3:59	14:59		7:59	0	0

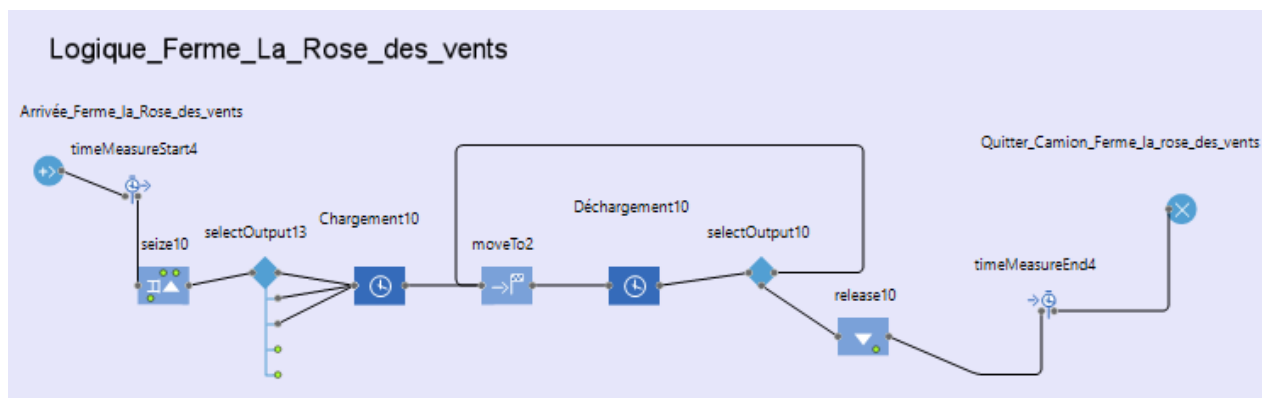
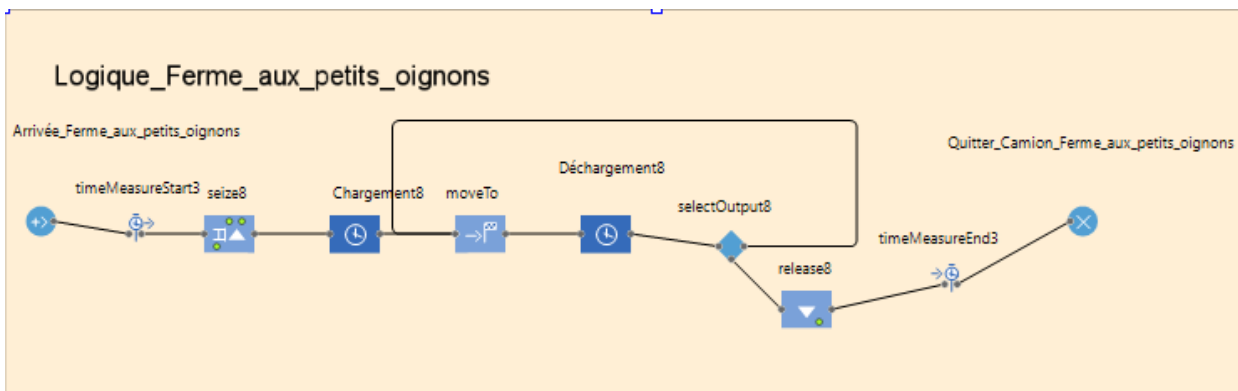
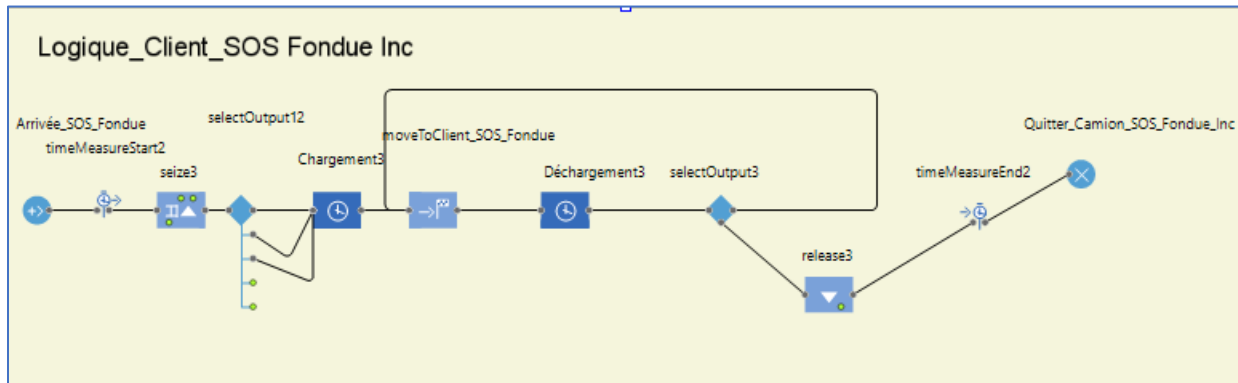
Véhicule:	V4	Arrêts:	12 Bénéfice net:					
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge
0	Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	L'Amour du Pain 2	104.93	1:09	08:09	08:29	1:29	0	0
2	LES MARCHÉS VALÉRIE ET MARTIN VARENNES INC.	114.19	1:18	08:38	08:58	1:58	0	0
3	IGA extra MARCHÉ DU FAUBOURG STE-JULIE INC.	126.88	1:33	09:13	09:33	2:33	0	0
4	IGA extra MARCHÉ LAMBERT & FRÈRES INC.	142.88	1:48	09:48	10:08	3:08	0	0
5	IGA extra MARCHÉ LAMBERT & FRÈRES INC. 1	146.77	1:54	10:14	10:34	3:34	0	0
6	MARCHÉ LAMBERT ET FRÈRES INC. 2	157.50	2:09	10:49	11:09	4:09	0	0
7	SUPERMARCHÉ GILLES BARITEAU INC.	166.42	2:22	11:22	11:42	4:42	0	0
8	IGA extra MARCHÉ VINCENT INC.	170.51	2:29	11:49	12:09	5:09	0	0
9	LES MARCHÉS VALÉRIE ET MARTIN LONGUEUIL INC.	177.71	2:41	12:21	12:41	5:41	0	0
10	SOBEYS CAPITAL INC.	196.88	2:58	12:58	13:18	6:18	0	0
11	IGA extra BOURGAULT ET SANZONE INC.	204.66	3:10	13:30	13:50	6:50	0	0
12	Dépôt	295.43	4:10	14:50		7:50	0	0

Véhicule:	V5	Arrêts:	2 Bénéfice net:					
Arrêter le compte	Nom de la localisation	Distance parcourue	Temps de conduite	Heure d'arrivée	Heure de départ	Temps de travail	Bénéfice collecté	Charge
0	Dépôt	0.00	0:00		07:00	0:00	0	0
1	IGA extra MARCHÉ ST-JANVIER INC.	54.23	0:37	07:37	07:57	0:57	0	0
2	Dépôt	107.04	1:12	08:32		1:32	0	0
3								

ANNEXE F

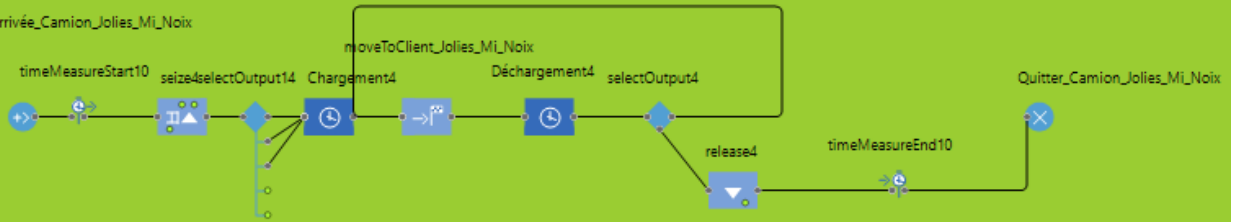
Le modèle de simulation As-Is et le modèle To-Be

La logique du modèle de simulation non mutualisé ou As-Is



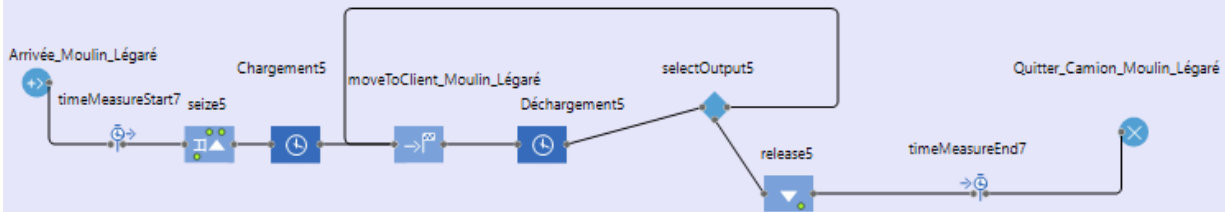
Logique_Client_Jolies_Mi_Noix

Arrivée_Camion_Jolies_Mi_Noix



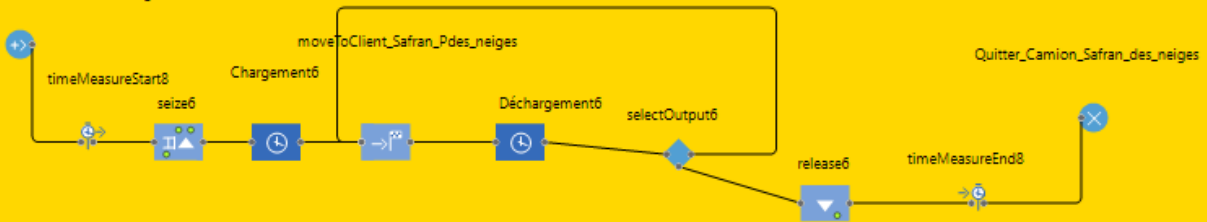
Logique_Client_Moulin_Légaré

Arrivée_Moulin_Légaré



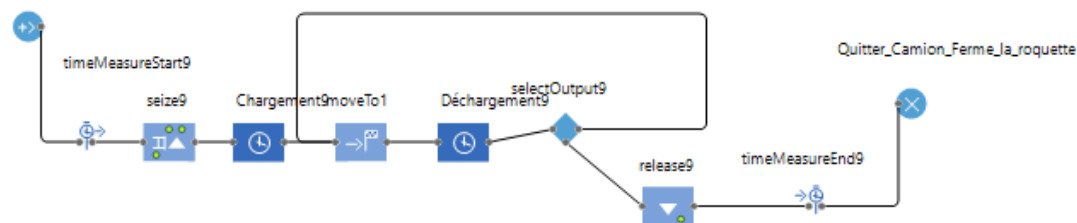
Logique_Client_Safran des neiges

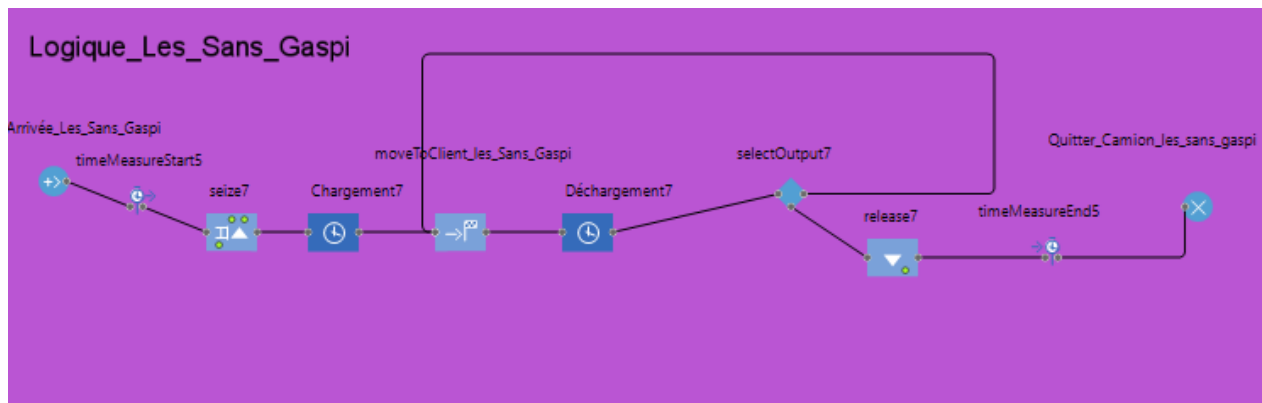
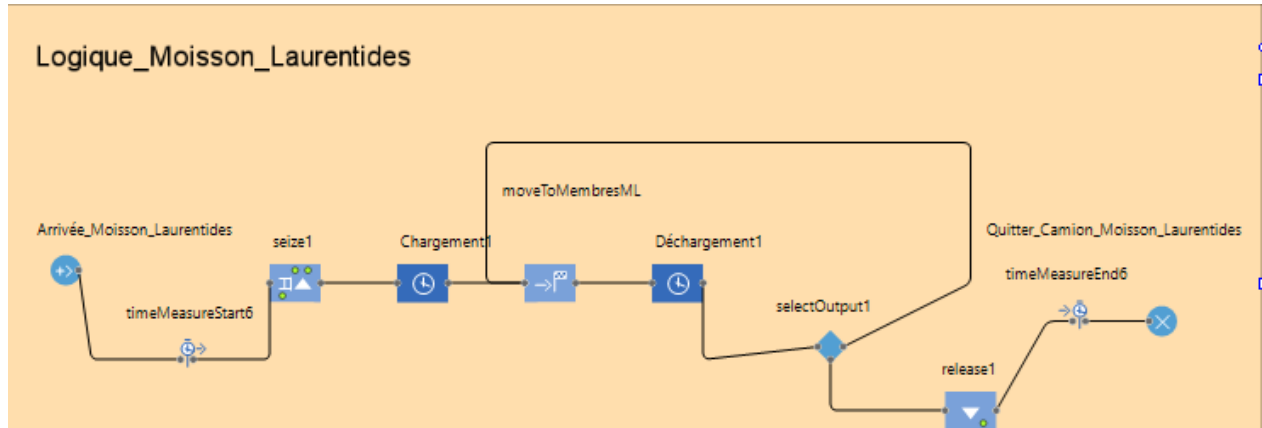
Arrivée_Safran_des_neiges



Logique_Ferme_La_Roquette

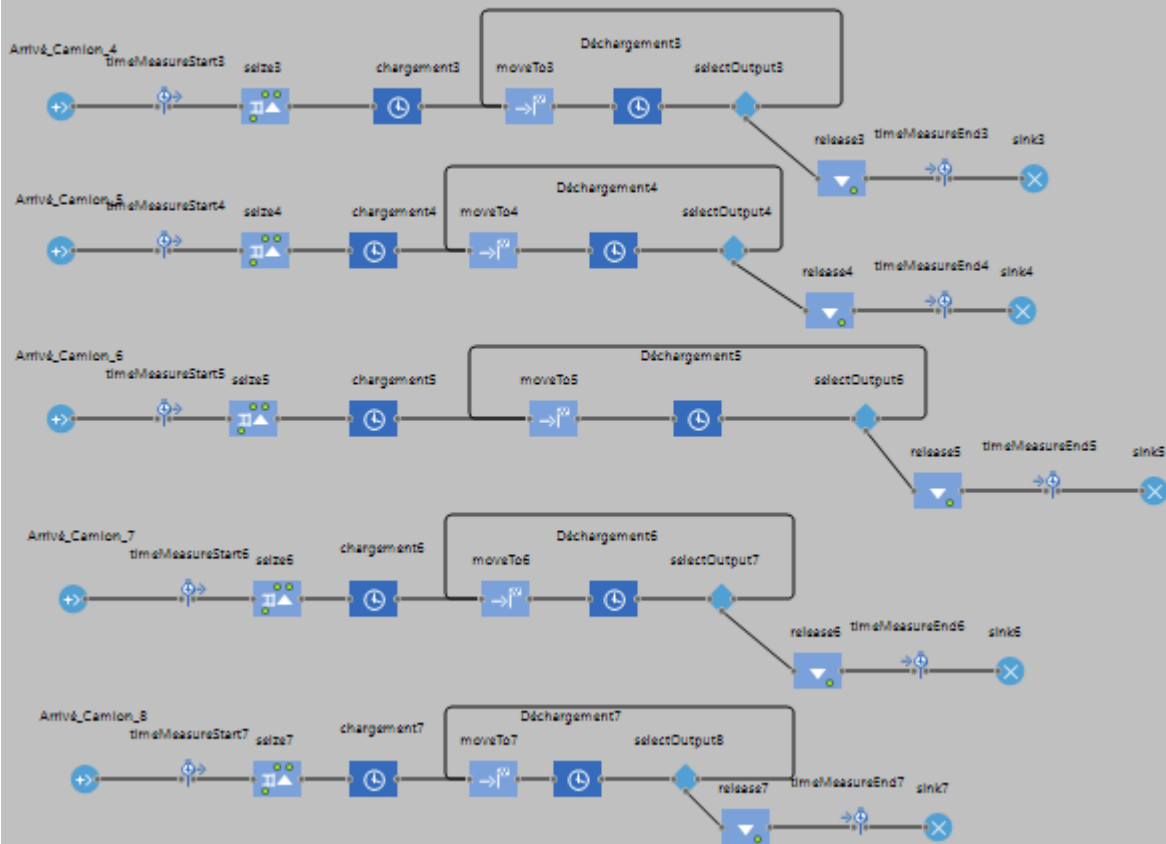
Arrivée_Ferme_Ja_roquette



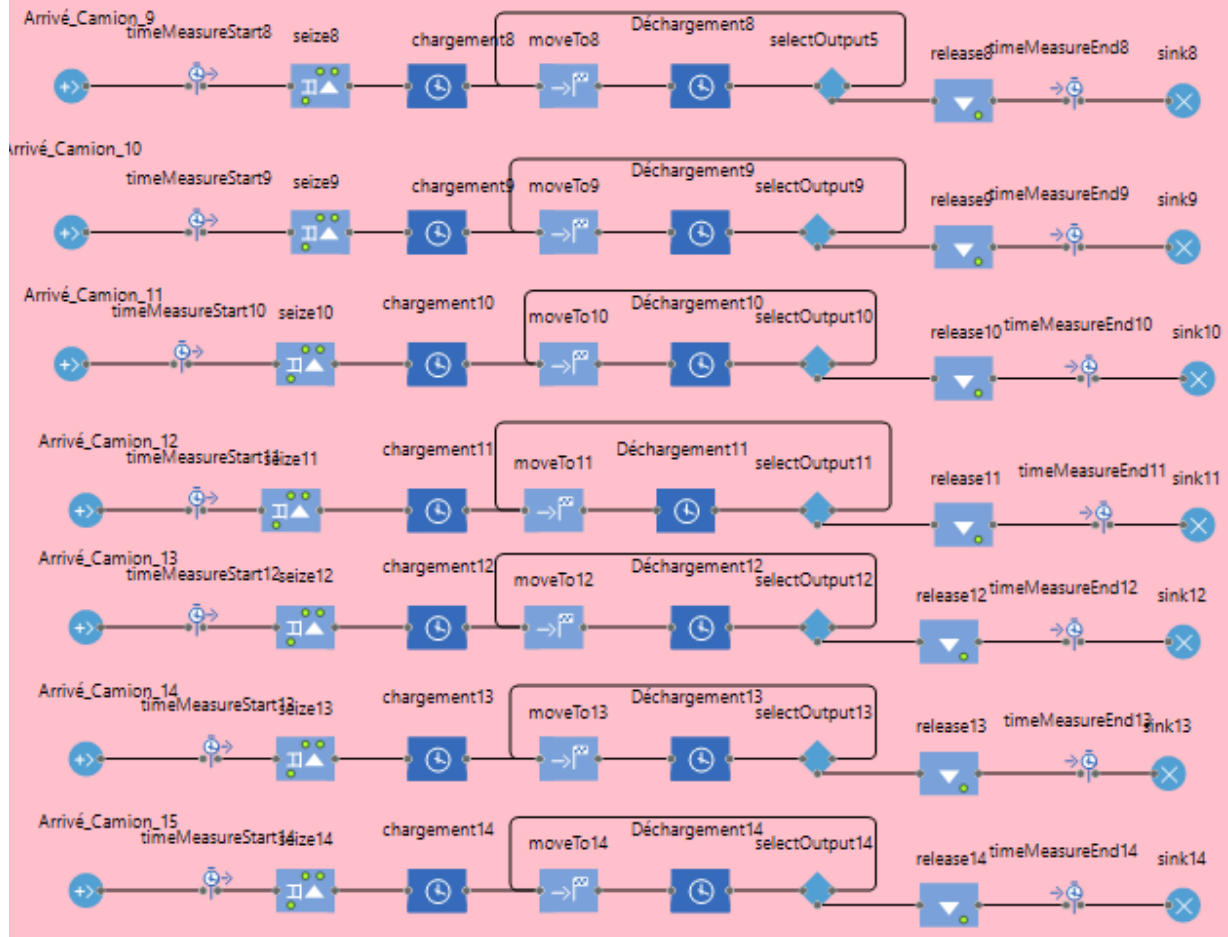


La logique du modèle de simulation mutualisé ou To Be

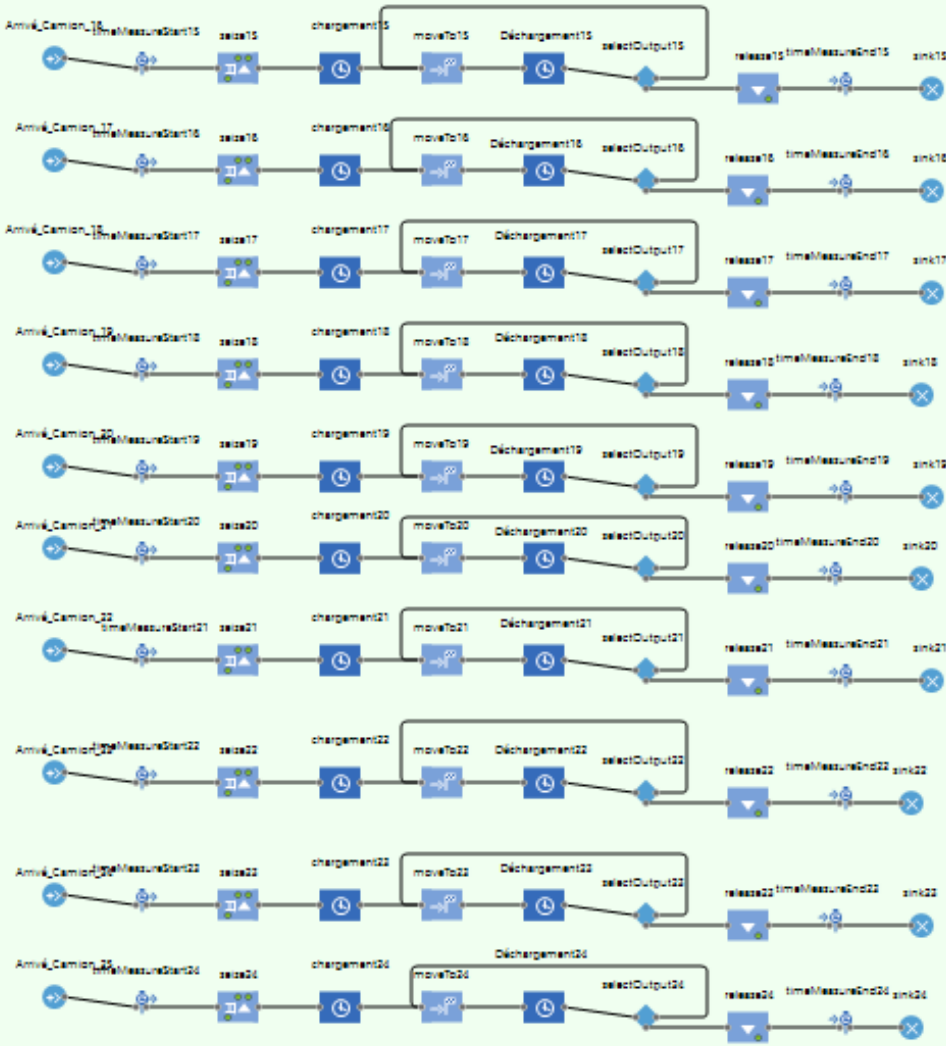
Mutualisation_Scénario 2



Mutualisation_Scénario 3



Mutualisation_Scénario 4

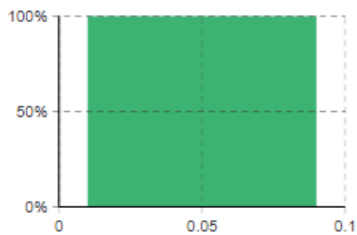


ANNEXE G

Les résultats de la simulation non mutualisée

Total_Utilisation_Camion_Ferme_aux_Petits_Oignons
300 samples [0.016...0.016] Mean=0.016

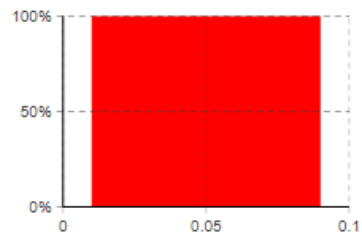
y_Utilisation_Camion_ferme_Aux_Petits_Oignons
0



Utilisation_Camion_Ferme_Aux_Petits_Oignons 0.02

Total_Utilisation_Camion_Ferme_la_roquette
300 samples [0.024...0.024] Mean=0.024

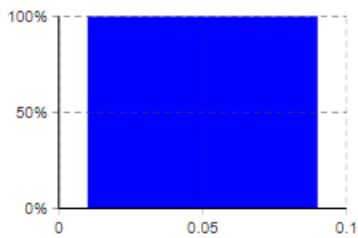
y_Utilisation_Camion_ferme_la_roquette
2.665E-10



Utilisation_Camion_Ferme_la_roquette 0.02

Total_Utilisation_Camion_Ferme_la_Rose_Des_Vents
300 samples [0.088...0.088] Mean=0.088

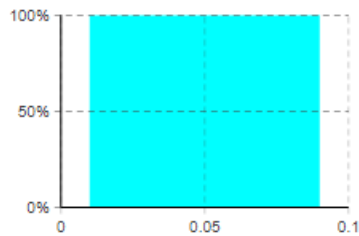
y_Utilisation_Camion_ferme_la_rose_des_vents
1.007E-9



Utilisation_Camion_Ferme_la_Rose_Des_Vents 0.09

Total_Utilisation_Camion_Jolies_Mi_Noix
300 samples [0.057...0.057] Mean=0.057

y_Utilisation_Camion_Jolies_Mi_Noix
5.734E-10

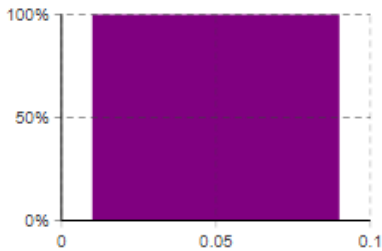


Utilisation_Camion_Ferme_la_Rose_Des_Vents 0.06

in

Total Utilisation_Camion_Les_Sans_Gaspi
300 samples [0.04...0.04]. Mean=0.04

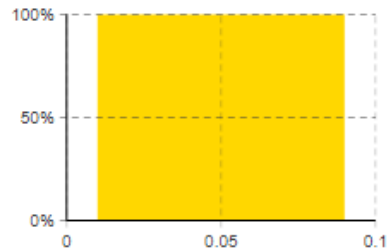
y_Utilisation_Camion_Les_Sans_Gaspi
0



Utilisation_Camion_Les_Sans_Gaspi 0.04

Total Utilisation_Camion_Mandys_Microgreens
300 samples [0.023...0.023]. Mean=0.023

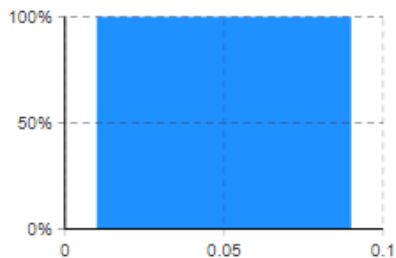
y_Utilisation_Camion_Mandys_Microgreens
2.361E-10



Utilisation_Camion_Les_Sans_Gaspi 0.02

Total Utilisation_Camion_Moisson_Laurentides
300 samples [0.062...0.062]. Mean=0.062

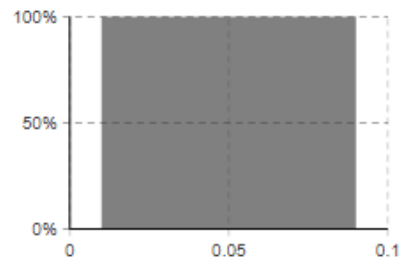
y_Utilisation_Camion_Moisson_Laurentides
0



Utilisation_Camion_Moisson_Laurentides 0.06

Total Utilisation_Camion_Moulin_legaré
300 samples [0.02...0.02]. Mean=0.02

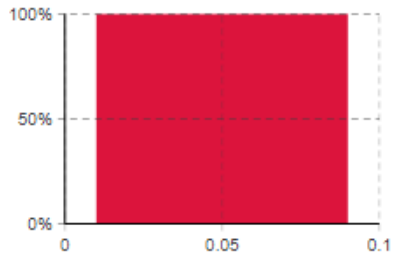
y_Utilisation_Camion_Moulin_legaré
1.648E-10



Utilisation_Camion_Moulin_legaré 0.02

Total_Utilisation_Camion_Safran_Des_Neiges
300 samples [0.022...0.022], Mean=0.022

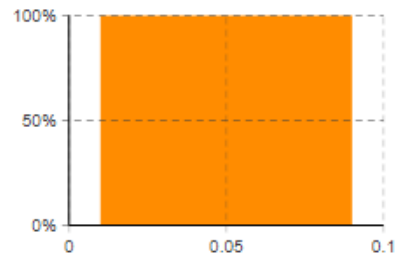
y_Utilisation_Camion_Safran_Des_Neiges



Utilisation_Camion_Safran_Des_Neiges 0.02

Total_Utilisation_Camion_SOS_Fondue_Inc
300 samples [0.054...0.054], Mean=0.054

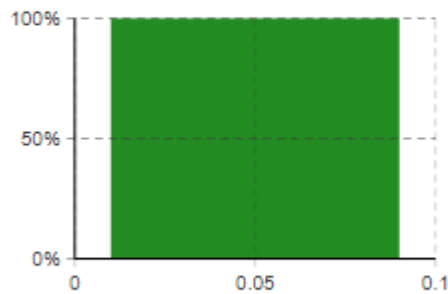
y_Utilisation_Camion_SOS_fondue_inc




Utilisation_Camion_SOS_Fondue_Inc 0.05


Total_Utilisation_Camion_Ah_Tout_Cru
300 samples [0.053...0.053], Mean=0.053

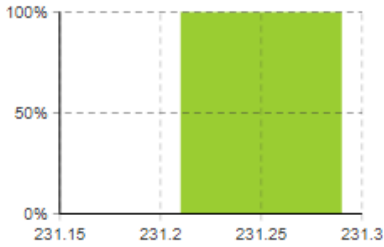
y_Utilisation_Camion_Ah_Tout_Cru





Utilisation_Camion_Ah_Tout_Cru 0.05


 Durée_Totale_tournée_Ferme_Aux_Petits_Oignons
300 samples [231.245...231.246] Mean=231.246

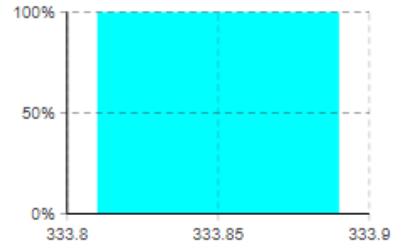
 v_Durée_Totale_tournée_Ferme_Aux_Petits_Oignons
2.714E-6




 Durée_Totale_tournée_Ferme_Aux_Petits_Oignons 231.25

 Durée_Totale_tournée_Ferme_La_Roquette
300 samples [333.864...333.864] Mean=333.864


 v_Durée_Totale_tournée_Ferme_La_Roquette
2.558E-6




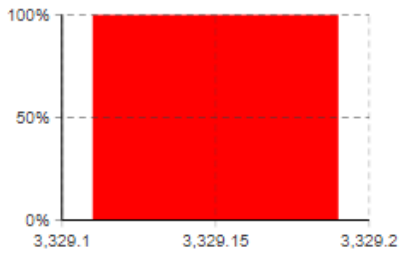
 Durée_Totale_tournée_Ferme_La_Roquette 333.86


 Du
30


 v_C
0


 Durée_Totale_tournée_Ferme_La_Rose_des_vents
300 samples [3.329.146...3.329.146] Mean=3.329.146

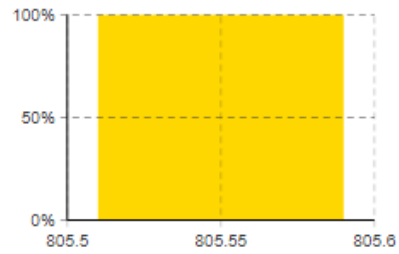
 v_Durée_Totale_tournée_Ferme_La_rose_des_Vents
0





 Durée_Totale_tournée_Ferme_la_rose_de_vents 3,329.15


 Durée_Totale_tournée_Jolies_Mi_Noix
300 samples [805.505...805.505] Mean=805.505

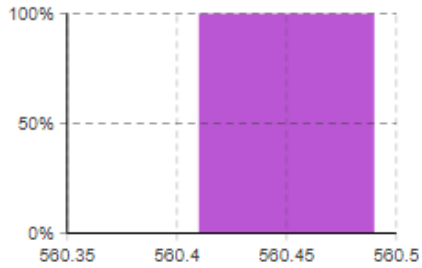
 v_Durée_Totale_tournée_Jolies_Mi_Noix
2.448E-6





 Durée_Totale_tournée_Jolies_Mi_Noix 805.5


 Durée_Totale tournée les Sans_Gaspi
300 samples [560.479...560.479]. Mean=560.479

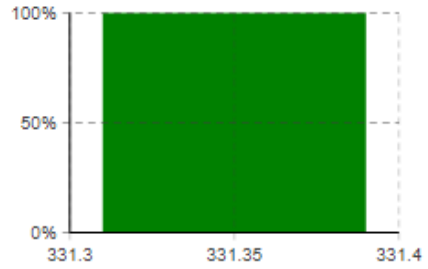
 v_Durée_Totale_tournée_les_Sans_Gaspi
4.578E-6





 Durée_Totale_tournée_Les_Sans_Gaspi 560.48


 Durée_Totale tournée Mandys_Microgreens
300 samples [331.376...331.376]. Mean=331.376

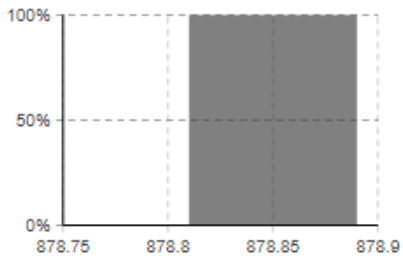
 v_Durée_Totale_tournée_Mandys_Microgreens
4.079E-6




 Durée_Totale_tournée_Mandys_Micrc


 Durée_Totale tournée Moisson_Laurentides
300 samples [878.805...878.805]. Mean=878.805

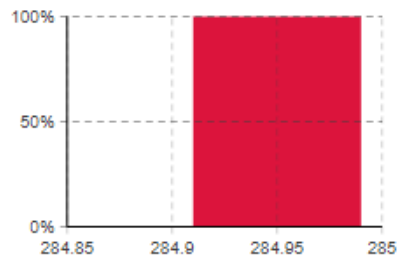
 v_Durée_Totale_Moisson_Laurentides
0




 Durée_Totale_tournée_Moisson_Laurentides 878.8

 Durée_Totale tournée Moulin_légéré
300 samples [284.91...284.91]. Mean=284.91

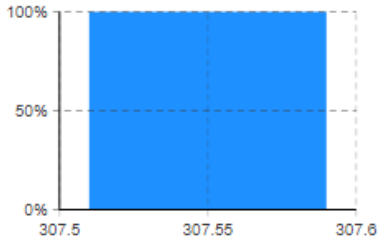
 v_Durée_Totale_Moulin_légéré
3.405E-6



 Durée_Totale_tournée_Moulin_légéré 284.91

ili. Durée_Totale tournée Safran des Neiges
300 samples [307.54...307.54]. Mean=307.54

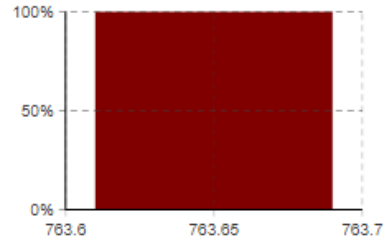
o v_Durée_Totale_Safran_des_Neiges
2.368E-6



● Durée_Totale_tournée_Safran_des_Neiges 307.54

ili. Durée_Totale tournée SOS Fondue
300 samples [763.694...763.694]. Mean=763.694

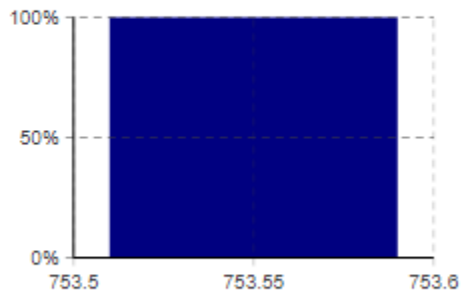
o v_Durée_Totale_SOS_Fondue
8.819E-6



● Durée_Totale_tournée_SOS_Fondue 763.69

ili. Durée_Totale tournée Ah tout cru
300 samples [753.547...753.547]. Mean=753.547

o v_Durée_Totale_Ah_tout_cru
5.043E-6



● Durée_Totale_tournée_Ah_tout_cru 753.55

RÉFÉRENCE

- Abdullatif, N. et Kassem, S. (2020). Modelling of agent-based vehicle routing problem using unified modelling language. *Journal Europeen des Systemes Automatises*, 53(6).
- Abu-Monshar, A., Al Bazi, A. et Alsalami, Q. (2021). On the Development of a Multi-Layered Agent-Based Heuristic System for Vehicle Routing Problem under Random Vehicle Breakdown. *Cihan University-Erbil Scientific Journal*, 5(1), 1-10.
- Andoh, E. A. et Yu, H. (2022). A two-stage decision-support approach for improving sustainable last-mile cold chain logistics operations of COVID-19 vaccines. *Annals of Operations Research*, 328(1), 75-105.
- Anufriyeva, T., Matsiuk, V., Shramenko, N., Ilchenko, N., Pryimuk, O. et Lebid, V. (2023). CONSTRUCTION OF A SIMULATION MODEL FOR THE TRANSPORTATION OF PERISHABLE GOODS ALONG VARIABLE ROUTES. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 122(4).
- Banks, J. (2005). *Discrete event system simulation*. Pearson Education India.
- Barry Issenberg, S., Mcgaghie, W. C., Petrusa, E. R., Lee Gordon, D., et Scalese, R. J. (2005). Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Medical teacher*, 27(1), 10-28.
- Belytschko, T., Liu, W. K., Moran, B., & Elkhodary, K. (2014). *Nonlinear finite elements for continua and structures*. John Wiley & sons.
- Blake, C., et Scanlon, E. (2007). Reconsidering simulations in science education at a distance: features of effective use. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(6), 491-502.

- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(suppl_3), 7280-7287.
- Bonan, G. (2015). *Ecological climatology: concepts and applications*.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper, M. B. et Bowersox, J. C. (2020). *Supply chain logistics management* (Mcgraw-hill).
- Bradley, P. (2006). The history of simulation in medical education and possible future directions. *Medical education*, 40(3), 254-262.
- Brailsford, S. C. et Hilton, N. A. (2001). *A Comparison of Discrete Event Simulation and System Dynamics for Modelling Healthcare Systems*.
- Brusatin, S., Padoan, T., Coletta, A., Delli Gatti, D. et Glielmo, A. (2024, Novembre). Simulating the Economic Impact of Rationality through Reinforcement Learning and Agent-Based Modelling. Dans *Proceedings of the 5th ACM International Conference on AI in Finance* (p. 159-167).
- Calabrò, G., Torrisi, V., Inturri, G. et Ignaccolo, M. (2020). Improving inbound logistic planning for large-scale real-world routing problems: a novel ant-colony simulation-based optimization. *European Transport Research Review*, 12(1).
- Caris, A., Macharis, C. et Janssens, G. K. (2013). Decision support in intermodal transport: A new research agenda. *Computers in Industry*, 64(2), 105-112.
- CBL. (2019). *OPTIMISATION LOGISTIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT D'UN PLAN DE TRANSPORT DURABLE DES DENRÉES DANS LES LAURENTIDES*.
- CIUSS. (2023). *Portrait des enjeux démographiques et socioéconomiques- MRC-Laurentides*. https://www.santelaurentides.gouv.qc.ca/fileadmin/internet/cisss_laurentides/Sante_Publique/Donnees_sur_la_population/Documents_d_analyse/2023/Portrait_MRC_LAUR_2023.pdf

- Cook, D. A., Hatala, R., Brydges, R., Zendejas, B., Szostek, J. H., Wang, A. T. et Hamstra, S. J. (2011). Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *Jama*, 306(9), 978-988.
- Dessevre, G., Martinez, C., Fontanili, F., Zhang, L. et Bortolaso, C. (2022). Simulation and analysis of disruptive events on a deterministic home health care routing and scheduling solution. Dans *In 2022 Winter Simulation Conference (WSC)* (p. 1069-1080). IEEE.
- Daniunas, V., Gontis, V. et Kononovicius, A. (2011). Agent-based Versus Macroscopic Modeling of Competition and Business Processes in Economics. *arXiv preprint arXiv: 1104-2895*.
- Dede, C. (2009). Immersive interfaces for engagement and learning. *Science*, 323(5910), 66-69.
- Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K. et van Wassenhove, L. N. (2013). *Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains*. Springer Science & Business Media.
- Dieckmann, P., Gaba, D. et Rall, M. (2007). Deepening the theoretical foundations of patient simulation as social practice. *Simulation in Healthcare*, 2(3), 183-193.
- Dieckmann, P., Molin Friis, S., Lippert, A. et Østergaard, D. (2009). The art and science of debriefing in simulation: Ideal and practice. *Medical Teacher*, 31(7), e287-e294.
- ECCC. (2023). *Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement : émissions de gaz à effet de serre*. <https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/cesindicators/ghg-emissions/2023/emissions-gaz-effe-serre-fr.pdf>
- Espejo-Díaz, J. A. et Guerrero, W. J. (2021). A multiagent approach to solving the dynamic postdisaster relief distribution problem. *Operations Management Research*, 14, 177-193.
- Ewert, R., Grahle, A., Martins-Turner, K., Syré, A. M., Nagel, K. et Göhlich, D. (2021). *Electrification of Urban Waste Collection: Introducing a Simulation-Based Methodology for Technical Feasibility, Impact and Cost Analysis*. *World Electric Vehicle Journal*, 12(3), 122.

- Figueira, G. et Almada-Lobo, B. (2014). Hybrid Simulation-Optimization Methods: A Taxonomy and Discussion. Dans *Simulation Modelling Practice and Theory*, 46, 118-134.
- Fikar, C. (2018). A decision support system to investigate food losses in e-grocery deliveries. *Computers and Industrial Engineering*, 117, 282-290.
- Fikar, C., Gronalt, M. et Hirsch, P. (2016). A decision support system for coordinated disaster relief distribution. *Expert Systems with Applications*, 57, 104-116.
- Fikar, C., Hirsch, P. et Gronalt, M. (2018). A decision support system to investigate dynamic last-mile distribution facilitating cargo-bikes. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(3), 300-317.
- Fishman, G. S. (2001). Discrete-event simulation: modeling, programming, and analysis. (Vol. 537). New York: Springer.
- Flin, R. et O'Connor, P. (2017). *Safety at the sharp end: a guide to non-technical skills*. CRC Press.
- Gaba, D. M. (2004). The future vision of simulation in health care. *BMJ quality & safety*, 13(SUPPL. 1), i2-i10.
- Gatti, D. D., Desiderio, S., Gaffeo, E., Cirillo, P. et Gallegati, M. (2011). *Macroeconomics from the Bottom-up* (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- Greasley, A. et Assi, A. (2012). Improving « last mile » delivery performance to retailers in hub and spoke distribution systems. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 23(6), 794-805.
- Grimm, V. et Railsback, S. F. (2012). Pattern-oriented modelling: a 'multi-scope' for predictive systems ecology. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367 (1586), 298-310.

- Guyon, O., Absi, N., Boudouin, D. et Feillet, D. (2015). Planification stratégique pour la logistique urbaine: l'apport de la recherche opérationnelle. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 34(1), 99-113.
- Hamill, L. et Gilbert, N. (2015). *Agent-based modelling in economics*. John Wiley & Sons.
- Herazo-Padilla, N., Montoya-Torres, J. R., Nieto Isaza, S. et Alvarado-Valencia, J. (2015). Simulation-optimization approach for the stochastic location-routing problem. *Journal of Simulation*, 9(4), 296-311.
- Hrušovský, M., Demir, E., Jammernegg, W. et Van Woensel, T. (2018). Hybrid simulation and optimization approach for green intermodal transportation problem with travel time uncertainty. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 30, 486-516.
- Jahangirian, M., Eldabi, T., Garg, L., Jun, G. T., Naseer, A., Patel, B., Stergioulas, L. et Young, T. (2010). Simulation in manufacturing and business: A review. *European journal of operational research*, 203(1), 1-13.
- Kirman, A. (2010). *Complex economics: individual and collective rationality*. Routledge.
- Kleijnen, J. P. (1995). Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research*, 82(1), 145-162.
- Kneebone, R. (2003). Simulation in surgical training: educational issues and practical implications. *Medical education*, 37(3), 267-277.
- Kononovicius, A. , et Daniunas, V. (2013). Agent-based and macroscopic modeling of the complex socio-economic systems. *Socialines Technologijos*, 3(1).
- Lateef, F. (2010). Simulation-based learning: Just like the real thing. *Journal of emergencies, trauma, and shock*, 3(4), 348-352.

- Law, A. M. et Kelton, W. D. (2007). *Simulation modeling and analysis*. (Vol. 3). New York: Mcgraw-hill.
- Liu, J., Hull, V., Batistella, M., DeFries, R., Dietz, T., Fu, F., Hertel, T. W., Cesar I., R., Lambin, E. F., Li, S., Martinelli, L. A., McConnell, W. J., Moran, E. F., Naylor, R., Ouyang, Z., Polenske, K. R., Reenberg, A., Rocha, G. de M., Simmons, C. S., ... Zhu, C. (2013). Framing sustainability in a telecoupled world. *Ecology and Society*, 18(2).
- Liu, M. L., Zhang, C., Wu, Q. L. et Meng, B. R. (2021). Vehicle routing problem with soft time windows of cargo transport o2o platforms. *International Journal of Simulation Modelling*, 20(2), 351-362.
- Macal, C. M. et North, M. J. (2005, December). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *In Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005*. (pp. 14-pp). IEEE.
- Maïzi, Y., Zhu, E. C., Wu, T. et Zhou, J. (2019). A reliable deployment strategy for public electric vehicle charging stations: A discrete event simulation model for power grid and traffic networks. Dans *2019 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 1660-1671). IEEE.
- Manuj, I., Mentzer, J. T. et Bowers, M. R. (2009). Improving the rigor of discrete-event simulation in logistics and supply chain research. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39(3), 172-201.
- Marcon, E., Chaabane, S., Sallez, Y., Bonte, T. et Trentesaux, D. (2017). A multi-agent system based on reactive decision rules for solving the caregiver routing problem in home health care. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 74, 134-151.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. (2019). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2019 et leur évolution depuis 1990*. www.environnement.gouv.qc.ca

- Motola, I., Devine, L. A., Chung, H. S., Sullivan, J. E. et Issenberg, S. B. (2013). Simulation in healthcare education: A best evidence practical guide. AMEE Guide No. 82. *Medical Teacher*, 35(10), e1511-e1530.
- Naderi, K., Ahari, R. M., Jouzdani, J. et Amindoust, A. (2021). System dynamics model of production-inventory-routing system in the green supply chain. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 40(6), 11441-11454.
- Nakhla, M. et Moisdon, J. C. (2010). *Recherche opérationnelle: Méthodes d'optimisation en gestion*. Presses des MINES.
- Nestel, D. et Bearman, M. (2014). *Simulated patient methodology: theory, evidence and practice*. John Wiley & Sons.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *bmj*, 372.
- Paul, S. et Doreswamy, G. (2021). Simulation and optimization framework for on-demand grocery delivery. Dans *2021 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 1-12). IEEE.
- Ravichandran, M., Naresh, R. et Kandasamy, J. (2020). Supply Chain Routing in a Dairy Industry Using Heterogeneous Fleet System: Simulation-Based Approach. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 101(5), 891-911.
- Raybaut, P. (2017). *Spyder Documentation Release 3 Pierre Raybaut* (Spyder-documentation). Available online at: pythonhosted.org .

- Reddy, R. H., Kumar, S. K., Fernandes, K. J. et Tiwari, M. K. (2017). A Multi-Agent System based simulation approach for planning procurement operations and scheduling with multiple cross-docks. *Computers and Industrial Engineering*, 107, 289-300.
- RHCC. (2020). *La voie à suivre : Résoudre la pénurie de main-d'oeuvre dans l'industrie du camionnage et de la logistique au Canada*. www.truckinghr.com
- Rossetti, M. D. (2015). *Simulation modeling and Arena*. John Wiley & Sons.
- SAAQ. (2022). Bilan routier 2022- Faits saillants. <https://saaq.gouv.qc.ca/blob/saaq/documents/publications/bilan-routier-2022.pdf>
- Sargent, R. G. (2010). Verification and validation of simulation models *In Proceedings of the 2010 winter simulation conference* (pp. 166-183). IEEE.
- Sawik, B., Faulin, J., Serrano-Hernandez, A. et Ballano, A. (2022). A simulation-optimization model for automated parcel lockers network design in urban scenarios in Pamplona (Spain), Zakopane, and Krakow (Poland). Dans *2022 Winter Simulation Conference (WSC)*. (pp. 1648-1659). IEEE.
- Schaldach, R., Alcamo, J., Koch, J., Kölking, C., Lapola, D. M., Schüngel, J. et Priess, J. A. (2011). An integrated approach to modelling land-use change on continental and global scales. *Environmental Modelling & Software*, 26(8), 1041-1051.
- Schmidt-Lainé, C. et Pave, A. (2002). Environnement: modélisation et modèles pour comprendre, agir ou décider dans un contexte interdisciplinaire. *Natures Sciences Sociétés*, 10, 5s-25s.
- Serrano-Hernandez, A., de la Torre, R., Cadarso, L. et Faulin, J. (2021). Urban e-grocery distribution design in Pamplona (Spain) applying an agent-based simulation model with horizontal cooperation scenarios. *Algorithms*, 14(1), 20.
- Shapiro, V. (2002). Solid Modeling. *Handbook of computer-aided geometric design*, 20, 473-518.

- Shepherd, S. P. (2014). A review of system dynamics models applied in transportation. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 2(2), 83-105.
- Sun, X., Andoh, E. A. et Yu, H. (2021). A simulation-based analysis for effective distribution of COVID-19 vaccines: A case study in Norway. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 11, 100453.
- Tesfatsion, L. et Judd, K. L. (Eds.). (2006). *Handbook of computational economics: agent-based computational economics*. Elsevier.
- Thomé, A. M. T., Scavarda, L. F. et Scavarda, A. J. (2016). Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning and Control*, 27(5), 408-420.
- Verburg, P. H., Crossman, N., Ellis, E. C., Heinimann, A., Hostert, P., Mertz, O., Nagendra, H., Sikor, T., Erb, K. H., Golubiewski, N., Grau, R., Grove, M., Konaté, S., Meyfroidt, P., Parker, D. C., Chowdhury, R. R., Shibata, H., Thomson, A. et Zhen, L. (2015). Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. *Anthropocene*, 12, 29-41.
- Vonolfen, S., Affenzeller, M., Beham, A., Lengauer, E. et Wagner, S. (2013). Simulation-based evolution of resupply and routing policies in rich vendor-managed inventory scenarios. *Central European Journal of Operations Research*, 21, 379-400.
- Wang, X., Swanson, K., Liu, Z., Jones, G. et Li, X. . (2022, December). A Simulation-Heuristic Approach to Optimally Design Drone Delivery Systems in Rural Areas. Dans *2022 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 1581-1592). IEEE.
- Zienkiewicz, O. C. et Taylor, R. L. (2005). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals Sixth edition*. Elsevier.
- Zou, G., Gao, M., Tang, J. et Yilmaz, L. (2023). Simulation of online food ordering delivery strategies using multi-agent system models. *Journal of Simulation*. 17(3), 297-311.

